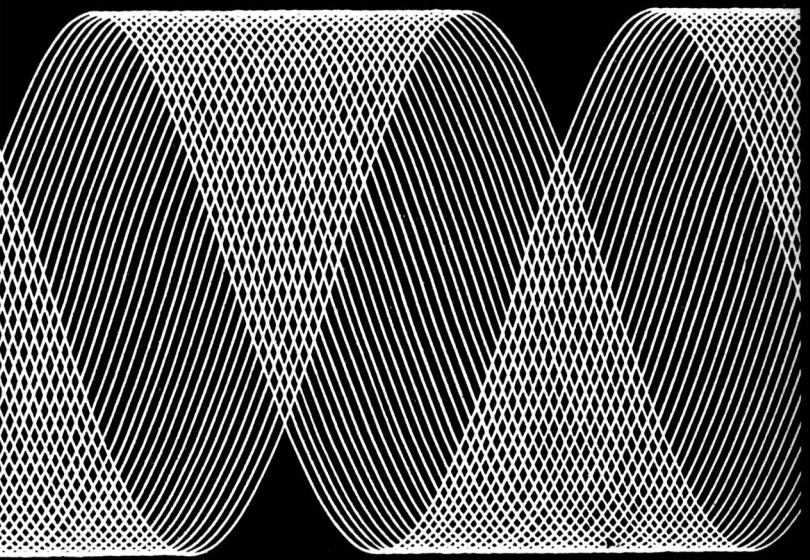
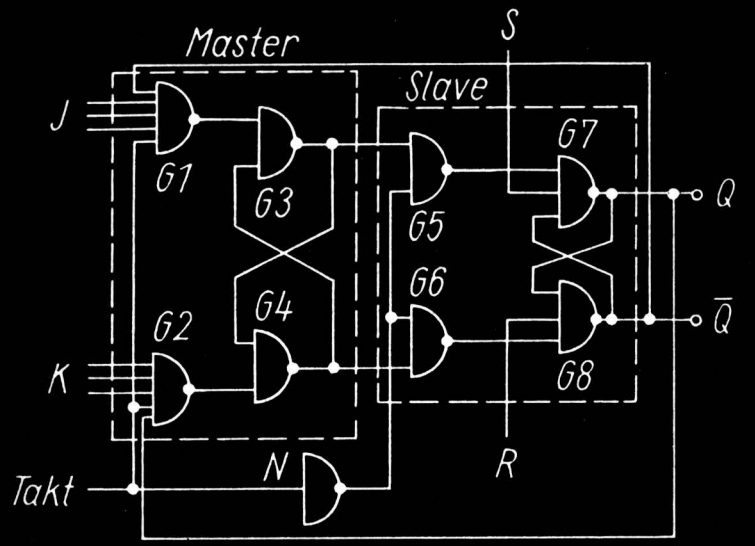
amateurreihe

electronica





Manfred Kramer

156

Impulstechnik mit TTL-Schaltkreisen

Leer

electronica · Band 156
MANFRED KRAMER

DM 2 CVO

Impulstechnik mit TTL-Schaltkreisen

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage, 1977, 1.—15. Tausend
© Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik,
VEB — Berlin, 1977
Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539
Lektor: Rainer Erlekampf
Zeichnungen: Gudrun Maraun
Typografie: Peter Mauksch · Hersteller: Michael Haase
Vorauskorrektor: Dietlinde Woitschig · Korrektor: Eva Plake
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 28. Februar 1977
Bestellnummer: 745 906 2
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 5

1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen 6

2. Allgemeine Hinweise 7
2.1. Technologische Hinweise für die Anwendung 7
2.2. Logikschaltungen und deren Darstellung 8
2.3. Arbeitsweise der integrierten Schaltkreise der Serie *D 10* 9
2.4. Technische Daten von TTL-Schaltkreisen der DDR 11
2.5. Zusammenschaltungsbedingungen 12
2.6. Äquivalente Typen 13
2.7. Kopplung mit anderen Bauelementen 13
2.8. Stromversorgung 15

3. Grundschaltungen 17
3.1. Bistabile Multivibratoren 17
3.1.1. Statischer bistabiler Multivibrator 17
3.1.2. Bistabiler Multivibrator mit gesteuerter Übernahme der Eingangssignale 19
3.1.3. JK-Master-Slave-Flip-Flop *D 172* 20
3.1.4. Das D-Flip-Flop *MH 7474 (D 274)* 22
3.2. Trigger 23
3.2.1. Trigger mit niederohmigem Eingang 23
3.2.2. Trigger mit hochohmigem Eingang 23
3.2.3. Der integrierte Trigger *SN 7413 N* 25
3.3. Astabiler Multivibrator 25
3.3.1. Symmetrischer astabiler Multivibrator 26
3.3.2. Astabiler Multivibrator mit variabler Frequenz .. 28
3.3.3. Astabiler Multivibrator mit *Schmitt*-Trigger 29
3.4. Monostabile Multivibratoren 29
3.4.1. Monostabile Multivibratoren für kurze Verzögerungszeiten 30

3.4.2. Monostabile Multivibratoren für längere Impulszeiten 30
3.4.3. Der integrierte monostabile Multivibrator *SN 74121 N* 32
3.5. Verzögerungsschaltungen 34
4. Impulszähler und Frequenzteiler 36
4.1. Binäre Teiler/Zähler 36
4.2. Zähler mit verschiedenem Zählumfang 38
4.3. Monolithisch integrierte Teiler/Zähler 43
4.3.1. Integrierte Zähldekade *MH 7490* 43
4.3.2. Schnelle synchrone Vorwärts-/Rückwärtszähler .. 44

5. Schieberegister 46
5.1. Schieberegister mit einzelnen Flip-Flops *D 172* ... 46
5.2. Monolithisch integrierte Schieberegister 47
5.3. Monolithischer Datenspeicher *D 181* 48

6. Dekoder 49
6.1. Binärdekoder 49
6.2. BCD-Dekoder zur Ansteuerung von gasgefüllten Ziffernanzeigeröhren 49
6.3. Monolithisch integrierte Dekoder 52

7. Verschiedene Anwendungsbeispiele 53
7.1. Schaltkreisprüfgerät 53
7.2. Morseübungsgenerator 56
7.3. Quarzgenerator 56
7.4. Elektronische Morsetaste 59
7.5. Elektronisches Türsignal 61
7.6. Einfache Quarzuhr mit Ziffernanzeige 65
7.7. Zählfrequenzmesser mit digitaler Anzeige 67
7.8. Kombinationsgerät Digitaluhr/Zählfrequenzmesser 71

8. Anhang (Schaltkreisvergleichstabelle) 74

Literaturhinweise 82

Vorwort

Seit einiger Zeit stehen in der DDR monolithisch integrierte TTL-Schaltkreise eigener Produktion sowie Importtypen zur Verfügung. Diese Schaltkreise haben sich international schnell durchgesetzt, äquivalente Typen produzieren alle Industrieländer. Die TTL-Schaltkreise zeichnen sich nicht nur durch hohe Zuverlässigkeit aus, auch der Schaltungsentwurf vereinfacht sich wesentlich gegenüber der herkömmlichen Digitaltechnik mit diskreten Bauelementen. Umfangreiche Schaltungen können meist mit nur geringem mathematischen Aufwand und ohne genaue Kenntnis der inneren Funktion des Schaltkreises entworfen werden. Es genügt, einige wenige Anschlußbedingungen zu berücksichtigen.

So erlauben die integrierten Schaltkreise auch dem Anfänger, komplexe Schaltungen aufzubauen.

Neben vielen Standardschaltungen enthält die Broschüre einige komplexe Anwendungsbeispiele, die auch dem fortgeschrittenen Amateur Anregungen für eigene schöpferische Tätigkeit mit diesen modernen Bauelementen geben.

Berlin, im Herbst 1974 *Manfred Kramer*

1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen

AM	astabiler Multivibrator
BM	bistabiler Multivibrator
B_{min}	minimale Großsignalverstärkung eines Transistors
C	Kondensator
f	Frequenz
FF	Flip-Flop, bistabiler Multivibrator
H	H-Pegel
I_C	Kollektorstrom
I_{IL}	Eingangsstrom bei L-Pegel
I_L	Laststrom
L	L-Pegel
m	Teilerverhältnis
n	Zahl der Flip-Flops
P_C	Kollektorverlustleistung
R	Widerstand
TTL	Transistor-Transistor-Logik
U_{BE}	Basis-Emitterspannung
U_{CE}	Kollektor-Emitterspannung
U_{IH}	minimale Eingangsspannung bei H-Pegel (2 V)
U_{IL}	maximale Eingangsspannung bei L-Pegel (0,8 V)
U_L	Lehrlaufspannung
U_{oH}	minimale Ausgangsspannung bei H-Pegel (2,4 V)
U_{oL}	maximale Ausgangsspannung bei L-Pegel (0,4 V)
U_S	Speisespannung
w	Wertigkeit

2. Allgemeine Hinweise

2.1. Technologische Hinweise für die Anwendung

Der Einsatz integrierter Schaltkreise ist für die Industrie und für viele Amateure kein Neuland mehr. Die konstruktive Anordnung dieser Bauelemente auf Leiterplatten ist jedoch nicht problemlos. Die vielen, eng beieinander liegenden Anschlüsse der Gehäuse stellen hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Bohrungen. Industriell hergestellte Leiterplatten sind bei geringen Stückzahlen sehr teuer. Für Versuchsaufbauten oder Einzelanfertigungen sind deshalb Universalplatten zweckmäßig, bei denen die Bohrungen im 2,5-mm-Raster liegen. Die Verbindungen realisieren einzelne Drähte. Solche Leiterplatten bietet auch der Amateurbedarfshandel an. Da an den meisten Schaltkreisen die Speisespannung über die gleichen Anschlüsse zugeführt wird, ist bei einigen Universal-Leiterkartentypen die Stromversorgung als gedruckte Schaltung ausgeführt (z. B. Universalleiterplattenprogramm der Firma Borkmann). Wer seine Leiterplatten selbst herstellen möchte, sollte für die Schaltkreisanschlüsse eine Bohrschablone verwenden und die Leiterzüge erst nach dem Bohren zeichnen. Auch bei einfachen Schaltungen lassen sich Leitungskreuzungen meist nur vermeiden, wenn man doppelseitig kaschiertes Material verwendet. Da die Durchkontaktierung von einer Seite auf die andere dem Amateur ohnehin kaum möglich ist, dürfte einfach kaschiertes Material mit Drahtbrücken zweckmäßiger sein. Beim Entwurf der Leiterplatten ist zu berücksichtigen, daß die Schaltkreisanschlüsse in Datenbüchern u. ä. als Draufsicht dargestellt sind.

2.2. Logikschaltungen und deren Darstellung

Bei digitalen Schaltungen nimmt die Amplitude der Signale meist nur zwei Werte mit vorgegebenen Toleranzen an.
Solche Schaltungen bestanden früher nur aus mechanischen Kontakten, z. B. Schaltern und Relais, heute werden sie auch mit Gasentladungsröhren, Vakuumröhren oder Halbleiterbauelementen aufgebaut. Der Signalfluß in Digitalschaltungen läßt sich mit der „Algebra der Logik", oft auch „Schaltalgebra" genannt, berechnen und optimieren. Man spricht deshalb auch von „logischen Schaltungen" oder „logischer Verknüpfung" von Signalen.
Einige grundlegende Begriffe und Symbole können anschaulich an Schaltungen mit mechanischen Kontakten erläutert werden. In Bild 2.1 müssen Schalter S 1 *oder* S 2 *oder* beide geschlossen sein, damit die Lampe leuchtet. Die Kontakte bilden eine ODER-Schaltung, wenn man das Aufleuchten der Lampe als Signal betrachtet. Sind S 1 *und* S 2 geöffnet, erlischt die Lampe. Wird das Erlöschen als Signal betrachtet, so bilden die gleichen Kontakte in gleicher Schaltung ein UND-Glied. Die logische Funktion einer Schaltung hängt also von der Zuordnung der Signale ab.
Neben UND und ODER zählt auch die Umkehrung oder Negation zu den logischen Grundoperationen.
Schließt man in Bild 2.2 den Schalter S 1, so öffnet sich der Ruhekontakt $\bar{a}$ des Relais.
Mit diesen drei Grundoperationen ist es möglich, logische Schaltungen beliebigen Umfangs zu entwerfen. In der internationalen Literatur werden das UND-Glied mit AND und die ODER-Schaltung mit OR bezeichnet. Digitale Halbleiterschaltkreise sind meist so aufgebaut, daß der logischen Ver-

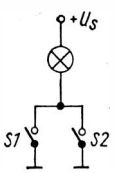


Bild 2.1
Logische Schaltung mit Kontakten

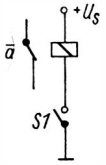


Bild 2.2
Negator mit Kontakten

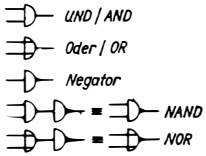


Bild 2.3
Symbole für logische Grundschaltungen

knüpfung der Eingangssignale ein Negator nachgeschaltet ist. Ein vorangestelltes N in der Bezeichnung der Grundoperation symbolisiert dies (NAND, NOR). Bild 2.3 zeigt die Symbole für logische Grundschaltungen nach *TGL 14 091 Bl. 2*. In der Bezeichnung von Signalen spiegelt sich die vorausgegangene Negation ebenfalls wider. Liegt z. B. am Eingang des Negators das Signal A, so wird das negierte Signal an seinem Ausgang mit $\overline{A}$ bezeichnet.
Wie bereits erwähnt, ist die logische Funktion von der Zuordnung der Signale abhängig. Bei TTL-Schaltungen wird meist die sogenannte „positive Logik" definiert:
Der hohe Spannungspegel (H) bedeutet „Signal", niedriger Spannungspegel (L) bedeutet „kein Signal".

2.3. Arbeitsweise der integrierten Schaltkreise der Serie *D 10*

In Halbleiterschaltkreisen sind mehrere Arten der logischen Verknüpfung üblich: z. B. mit Dioden und Transistoren, Widerständen und Transistoren, direkte Kopplung der Transistoren usw.
Bild 2.4 zeigt ein mit Transistoren verknüpftes NAND-Glied. Diese Art der Verknüpfung wird als Transistor-Transistor-

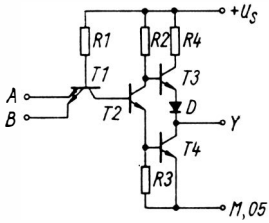


Bild 2.4
Innenschaltung eines TTL-NAND-Gliedes

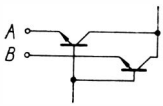


Bild 2.5
Bildung des Multiemittertransistors

Logik, abgekürzt TTL, bezeichnet. Ungewöhnlich ist die Darstellung des Eingangstransistors, die man sich aus der Parallelschaltung der Kollektoren und der Basisanschlüsse zweier üblicher Transistoren erklären kann (Bild 2.5). Liegt einer der Emitter des Eingangstransistors T 1 (Bild 2.4) an OV (L-Pegel), so leitet dieser Transistor und sperrt den folgenden. Damit erhält T 3 über R 2 Basisstrom und leitet. Die Basis von T 4 liegt über R 3 an Masse, er ist deshalb gesperrt. Am Ausgang ist H-Pegel. Liegen beide Eingänge an H, dann fließt über die Basis-Kollektorstrecke von T 1 Strom in die Basis von T 2. Dieser steuert nun die Endstufe gegenphasig an, T 3 sperrt und T 4 leitet, am Ausgang liegt L-Pegel. Im Umschaltmoment leiten beide Transistoren der Gegentaktendstufe, der Strom muß deshalb durch einen Widerstand R 4 begrenzt werden. Die Diode verbessert das Sperrverhalten des Transistors T 3.

Bei einigen Schaltkreistypen arbeitet der Ausgang nicht als Gegentaktstufe (z. B. *D 103, D 146*), es fehlt der obere Transistor (T 3 in Bild 2.4). Der Kollektor des unteren Transistors (T 4 in Bild 2.4) ist einzeln herausgeführt. Die Ausgänge dieser Schaltkreise dürfen (im Gegensatz zu denen der anderen Typen) parallelgeschaltet werden, erfordern jedoch einen externen Arbeitswiderstand.

Die beschriebenen Schaltungen sind die Grundlage der Schaltkreisserie *D 10*. Nicht nur die NAND-Glieder mit 2, 3, 4 und 8 Eingängen, auch die höher integrierten Bausteine sind intern aus solchen und ähnlichen Schaltungen aufgebaut.
Die zeichnerische Darstellung wäre sehr unübersichtlich und unproduktiv, wollte man immer die innere Schaltung verwenden.
Deshalb wird nur das logische Symbol in die Schaltung oder das Anschlußbild des Schaltkreises eingezeichnet. Da alle in einem Gehäuse enthaltenen Bauelemente eine gemeinsame Stromversorgung haben, ist diese nur im Schaltkreisanschlußbild angegeben, in die Schaltung jedoch nicht eingezeichnet!
In der Bezeichnung der RFT-Schaltkreise gibt der letzte Buchstabe den Gehäusewerkstoff an: C bedeutet Keramik, D heißt Plastgehäuse. Da dies auf die elektrischen Daten ohne Einfluß ist, wurde dieser Buchstabe bei den Beschreibungen nicht mit angegeben.

2.4. Technische Daten von TTL-Schaltkreisen der DDR

Für Betriebsbedingungen, z. B. bei der Serie *D 10* im Arbeitstemperaturbereich von 0 °C bis + 70 °C (273 k bis 343 k) und bei einer Speisespannung von 4,75 V bis 5,25 V, gelten die Kenndaten. Für alle Schaltkreise einer Serie sind die Definition der Einheitslast und die zulässigen Betriebsbedingungen gleich (Tabelle 2.1.). Die übrigen Daten, wie Schaltgeschwindigkeit und Lastfaktor, unterscheiden sich bei den einzelnen Typen manchmal. Der Lastfaktor gibt an, wie viele Einheitslasten ein Eingang (F_{LE}) darstellt oder ein Ausgang (F_{LA}) versorgen kann.
Beispiel: An den Ausgang eines Leistungs-NAND-Gliedes des *D 140* lassen sich 30 Eingänge mit der Einheitslast 1 anschließen (30 Eingänge von NAND-Gliedern *D 100*). Die Ausgänge der meisten Typen der Serie *D 10* haben einen zulässigen Lastfaktor von 10, die meisten Eingänge bilden eine Last von 1. Die Grenzwerte in Tabelle 2.2. darf man nicht überschreiten.

Tabelle 2.1. Kenndaten von TTL-Schaltkreisen der Serie D 10

	L-Pegel		H-Pegel
Einheitslast	1,6 mA		40 μA
Eingangsspannung	< 0,8 V		> 2 V
Ausgangsspannung	< 0,4 V		> 2,4 V
Betriebstemperatur	0 °C	bis	70 °C
Speisespannung	4,75 V	bis	5,25 V

Tabelle 2.2. Grenzwerte von TTL-Schaltkreisen D 10

Speisespannung	7 V
Spannung an den Eingängen	5,5 V
Lagerungstemperatur	− 65 °C bis + 175 °C

2.5. Zusammenschaltungsbedingungen

Bei vielen Schaltungen sind nicht alle Eingänge der Schaltkreise nötig, z. B. wenn ein NAND mit mehreren Eingängen als Negator geschaltet ist. Liegen die unbenutzten Eingänge auf H-Pegel, so haben sie auf die Funktion keinen Einfluß. Sie können an den Ausgang eines unbenutzten NAND-Gliedes gelegt werden, bei dem mindestens ein Eingang auf L-Pegel liegt.

Ist gesichert, daß man die maximal zulässige Eingangsspannung von 5,5 V nicht überschreitet, so dürfen sie auch direkt an der Speisespannung liegen. Besteht die Möglichkeit, daß sie 5,5 V übersteigt, ist ein Begrenzungswiderstand zwischen unbenutztem Eingang und Speisespannung notwendig (Begrenzung auf $I = 1$ mA). Dabei dürfen auch mehrere unbenutzte Eingänge parallelgeschaltet sein. Man kann aber auch die freien Eingänge des mitbenutzten gleichen Gatters parallelschalten. Sie zählen dann zusammen als eine Lasteinheit bei L-Pegel. Werden schließlich unbenutzte Eingänge einfach frei gelassen und abgekniffen, so vereinfacht sich dadurch der Entwurf von Leiterplatten.

Auf die logische Funktion hat dies keinen Einfluß. Die Schaltzeit verlängert sich etwas, jedoch stört dies meist nicht.

2.6. Äquivalente Typen

Wie bereits erwähnt, produzieren alle Industrieländer TTL-Schaltkreise. Diese Bauelemente sind in den meisten Fällen völlig äquivalent, d. h., nicht nur die Logikpegel, auch die Anschlüsse und Gehäuse stimmen überein, so daß Schaltkreise verschiedener Hersteller meist ohne Bedenken zusammengeschaltet oder ausgetauscht werden können. Beispielsweise sind die Schaltkreise *SN 7400 N* von Texas Instruments, *MH 7400* von TESLA und der *D 100* völlig gleich. Neben der Standard-TTL-Reihe, zu der diese Typen gehören, bieten einige Hersteller noch Hochgeschwindigkeitsreihen (z. B. unsere Serie *D 20)* oder Reihen mit geringerem Leistungsbedarf an. Oft erscheinen auch Typen mit erweitertem Arbeitstemperaturbereich und größeren zulässigen Toleranzen der Speisespannung (z. B. unsere Reihe *E 10*). Alle diese TTL-Schaltkreise sind hinsichtlich der logischen Pegel voll kompatibel und können direkt zusammenarbeiten.
Die übrigen technischen Daten, wie Lastfaktor, Toleranzen usw., sind jedoch zu berücksichtigen. Der Ausgangslastfaktor ist z. B. bei den Schaltkreisen des „Bastlerbeutels Nr. 8" geringer als bei der Serie *D 10*, die Einheitslast ist bei der Serie *D 20* größer usw. Eine kurze Übersicht im Anhang vergleicht einige Typen verschiedener Hersteller miteinander.

2.7. Kopplung mit anderen Bauelementen

Die Zusammenschaltung mit weiteren Bauelementen ist meist problemlos. Soll eine Glühlampe, ein Relais oder ein anderes Bauelement mit größerem Leistungsbedarf angesteuert werden, so sind oft Leistungsstufen erforderlich (Bild 2.6). Bild 2.6, Bild 2.7 und Bild 2.8 zeigen einige Beispiele. Die Bauelemente sollten hier aus einer anderen Spannungsquelle ge-

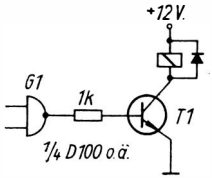


Bild 2.6
Ansteuerung eines Transistors mit TTL-Pegel

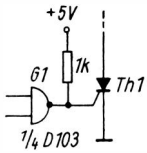


Bild 2.7
Ansteuerung eines Thyristors mit TTL-Pegel

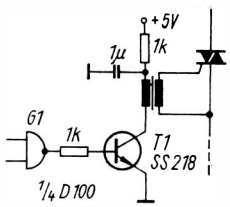


Bild 2.8
Ansteuerung eines Triac mit TTL-Pegel

speist sein, um die stabilisierte Spannung von 5 V nicht unnötig zu belasten und Rückwirkungen auf die TTL-Logikschaltungen zu vermeiden.

Steuern mechanische Kontakte die TTL-Schaltkreise an, so muß man deren Prellungen berücksichtigen. Beim Schließen eines Relaiskontakts prellt der Arbeitskontakt nach dem ersten Schließen oft noch mehrmals auseinander, bevor er sich endgültig schließt. Die relativ schnellen TTL-Schaltkreise verarbeiten dieses Signal dann wie mehrere Impulse. Die steilen Flanken der TTL-Signale verursachen auf längeren Leitungen (ab etwa 50 cm) Reflexionen, die ebenfalls Fehlschaltungen bewirken können. Eine Möglichkeit, diese Störungen einzuschränken, besteht darin, angepaßte Leitungen zu verwenden. Eine exakte Anpassung einzelner Drähte ist leider nur schwie-

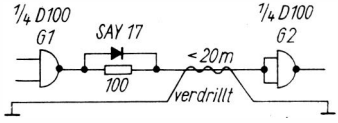


Bild 2.9
Einfache Leitungstreiber- und Leitungsempfängerschaltung

rig möglich. Deshalb werden meist verdrillte Drähte verwendet, die einen Wellenwiderstand von etwa 120 Ω haben.
Die in Bild 2.9 gezeigte Anordnung erlaubt Leitungslängen von etwa 20 m.

2.8. Stromversorgung

Die Speisespannung für TTL-Schaltkreise beträgt 5 V. Die zulässigen Schwankungen dieser Spannung sind bei den einzelnen Serien unterschiedlich:

a) Serien *D/E 10, 74*, 155 ± 5 %
b) Serien *54*, 133 ± 10%

Die Speisespannung sollte unbedingt stabilisiert sein. Dabei ist nur geringer Aufwand erforderlich. Bild 2.10 und Bild 2.11 zeigen einfache Schaltungen. Die zulässige Belastung dieser oder ähnlicher Netzteile wird grob wie folgt bestimmt:

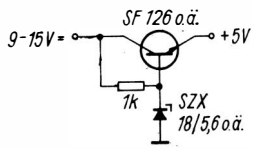


Bild 2.10
Einfache Spannungsstabilisierung

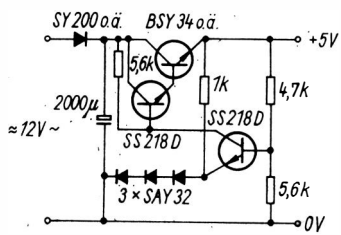


Bild 2.11
Einfaches geregeltes Netzteil

Gegeben: U_L, Spannung nach der Gleichrichtung im Leerlauf, z. B. 12 V

P_C, zulässige Kollektorverlustleistung des Transistors je nach Kühlfläche und Umgebungstemperatur, z. B. 1,2 W (*BSY 34* mit Kühlstern 30 mm ⌀)

gesucht: zulässiger Laststrom I_L bei $U_S = 5$ V

$$I_L = \frac{P_C}{U_L - U_C} = \frac{1{,}2\ \text{W}}{7\ \text{V}} = 171\ \text{mA}\,.$$

Dieser Strom reicht für etwa 10 Schaltkreise *D 100*. Bei einer umfangreichen Anordnung mit sehr vielen Schaltkreisen kann eine Begrenzung der Speisespannung auf maximal 5,5 V oder 7 V (je nach Anschluß der freien Eingänge) verhindern, daß bei Fehlern im Netzteil eine zu hohe Spannung die Schaltkreise gefährdet.

Nicht nur hochwertigen Schaltungen mit Thyristoren [4] und Transistoren, auch eine einfache Reihenschaltung von 10-A-Dioden, z. B. aus dem „Bastlerbeutel Nr. 5", schützen die Schaltkreise zuverlässig.

Wenn die Schaltkreise von einem Zustand in den anderen umschalten, verursachen die beiden Ausgangstransistoren kurzzeitig eine höhere Stromaufnahme. Deshalb soll unmittelbar an den Anschlüssen eines jeden Schaltkreises die Stromversorgung mit einem sogenannten Stützkondensator von etwa 30 nF überbrückt werden.

3. Grundschaltungen

3.1. Bistabile Multivibratoren

Diese Baugruppen sind auch als Flip-Flop (FF) oder Trigger bekannt. Wie schon die Bezeichnung erwarten läßt, nehmen sie in Abhängigkeit von den Eingangssignalen zwei stabile Zustände ein, die z. T. sogar bestehen bleiben, wenn keine Signale mehr an den Eingängen anliegen.

3.1.1. Statischer bistabiler Multivibrator

Bild 3.1 zeigt die Schaltung. Die Ziffern bezeichnen mögliche Anschlüsse an einem Baustein *D 100*. In Ruhestellung liegt L-Pegel am Ausgang A. Dieses L steht auch am Eingang 4 von G 2 und bewirkt H-Pegel an dessen Ausgang $\overline{A}$. Damit führen beide Eingänge des Gatters 1 H-Pegel und Ausgang A ist L. Diese Stellung bleibt bestehen (gespeichert), solange wie die Speisespannung anliegt und der Setzeingang S das H-Potential führt. Der Rücksetzeingang R darf beliebige Signale annehmen (H oder L), weil der Eingang 4 von G 2 schon auf L liegt.
L-Signal am Eingang S bewirkt H-Pegel am Ausgang A. Wenn im selben Moment H an R liegt, kippt der BM innerhalb weniger Nanosekunden in den anderen stabilen Zustand: H-Pegel an beiden Eingängen von G 2, somit L an $\overline{A}$ und H an A. Am Eingang R muß nun H-Signal, an S darf ein beliebiger Pegel anliegen.

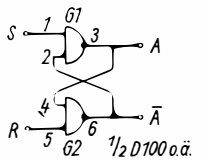


Bild 3.1
Statischer bistabiler Multivibrator

Gelangt an beide Eingänge gleichzeitig L-Signal, so liegen beide Ausgänge auf H-Pegel. Schalten die Eingänge danach wieder gleichzeitig auf H, so ist nicht definiert, welche der beiden stabilen Stellungen der BM einnimmt. Diese Signalfolge muß deshalb vermieden werden. Auch nach Anlegen der Speisespannung ist die Stellung des BM unbestimmt, wenn die Eingänge R und S auf H liegen. Deshalb sind statische BM oft auch aus Gattern mit mehr als 2 Eingängen aufgebaut. Sie verfügen dann über zusätzliche Voreinstell- oder Rücksetzeingänge, um nach dem Anlegen der Speisespannung oder auch aus anderen Gründen (z. B. Abbrechen eines Funktionsablaufs usw.) alle oder einige BM der Schaltung in eine definierte Ausgangslage zu versetzen. Der BM besteht dann z. B. aus einem Gatter mit 2 Eingängen (1/4 *D 100*) und einem Gatter mit 3 Eingängen (1/3 *D 110*).

Der statische BM dient meist als Speicher.

Beispiel: Bei einer elektronischen Morsetaste wird ein Anschlag des Tasthebels an der Strichseite so lange gespeichert, bis der Strich beendet ist. Inzwischen darf man den Tasthebel auf die Punktseite legen oder auch loslassen (siehe auch Abschnitt 7.4.). Bild 3.2 zeigt eine Möglichkeit, Prellungen von Kontakten (Relais, Tasten) unwirksam zu machen. Der BM kippt mit der ersten Berührung der Kontakte, die nachfolgenden Prellungen wirken sich nicht mehr aus. Die beiden statischen Eingänge des BM können über ein RC-Netzwerk zusammengefaßt werden. Der BM wirkt nun auch dynamisch, d. h., er läßt sich mit Impulsen ansteuern.

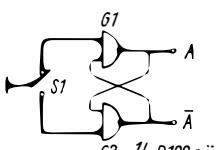


Bild 3.2
Prellfreier Kontakteingang

3.1.2. Bistabiler Multivibrator mit gesteuerter Übernahme der Eingangssignale

In vielen Anwendungsfällen sollen die Eingangssignale eines statischen BM nicht sofort, sondern nur zu einem bestimmten Zeitpunkt eingespeichert werden. Dies gewährleistet eine Torschaltung, die man dem eigentlichen BM vorschaltet. Bild 3.3 zeigt die Schaltung. Die NAND-Glieder G 1 und G 2 bilden die Torschaltung, der bistabile Multivibrator besteht aus den Gattern G 3 und G 4. Solange der Takteingang auf L-Pegel liegt, ist die Torschaltung gesperrt, die Ausgänge der Gatter (G 1 und G 2) liegen unabhängig von den übrigen Eingangssignalen auf H-Pegel. Es ist nicht möglich, Eingangssignale in den BM (G 3 und G 4) einzuspeichern. Mit der L/H-Flanke des Taktimpulses übernimmt der BM die Eingangssignale. Es sind folgende Kombinationen möglich:

1. J-Eingang an L-Pegel, K-Eingang an H-Pegel, während und nach der L/H-Flanke des Taktimpulses liegt A auf L-Pegel ($\bar{A}$ auf H).
2. K-Eingang an L-Pegel, J-Eingang an H-Pegel, während und nach der L/H-Flanke des Taktimpulses liegt A auf H-Pegel ($\bar{A}$ auf L).
3. J- und K-Eingang auf L-Pegel, während und nach der L/H-Flanke des Taktimpulses tritt keine Änderung des Schaltzustands an den Ausgängen auf, der vor dem Taktsignal gespeicherte Zustand bleibt erhalten.
4. J- und K-Eingang auf H-Pegel, während der Dauer des Taktsignals liegt an beiden Ausgängen H-Pegel. Nach dem Abschalten des Taktes (Pegel wieder auf L) ist der Pegel

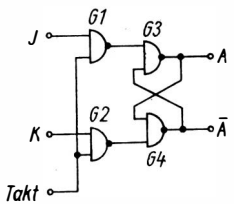


Bild 3.3
Statischer bistabiler Multivibrator mit gesteuerter Übernahme der Eingangssignale

an den Ausgängen unbestimmt. Diese Kombination der Eingangssignale sollte deshalb vermieden werden.

Ist die Torschaltung durch H-Pegel des Taktes geöffnet, so wirkt jede Änderung der Eingangssignale wie beim statischen BM.

3.1.3. JK-Master-Slave-Flip-Flop *D 172*

Das JK-Master-Slave-Flip-Flop *D 172* besteht intern aus 2 bistabilen Multivibratoren mit gesteuerter Übernahme, die hintereinandergeschaltet sind (Bild 3.4). Der sogenannte Master (engl. master = Meister) besteht aus den Gattern G 3 und G 4. Die NAND-Glieder G 1 und G 2 bilden die zugehörige Torschaltung. Die jeweils 3 J- und 3 K-Eingänge sind UND-verknüpft, d. h., der H-Pegel ist erst wirksam, wenn er an allen 3 jeweils zusammengehörigen Eingängen anliegt. Die Gatter G 5 und G 6 bilden die Torschaltung des Slave (engl. slave = Knecht). Der bistabile Multivibrator des Slave besteht aus den Gattern G 7 und G 8. Er verfügt noch über 2 Eingänge, die nicht über die Torschaltung laufen, also auch unabhängig vom Takt wirksam sind: L-Pegel am Setzeingang S stellt Ausgang Q auf H-Pegel, L-Pegel am Rücksetzeingang R stellt Q auf L-Pegel zurück.
Der Taktimpuls steuert die Torschaltung des Slave über einen Negator. Durch diese Art der Schaltung und die entsprechend festgelegten Umschaltpegel der Gatter bedingt, löst jeder Takt-

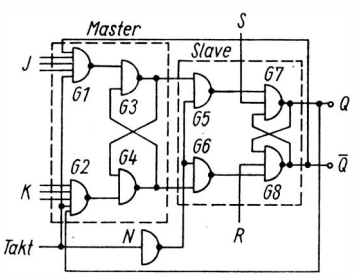


Bild 3.4
Vereinfachtes logisches Ersatzschaltbild des JK-Master-Slave-Flip-Flop *D 172*

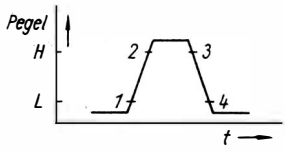


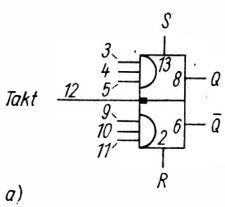
Bild 3.5
Zeitdiagramm der Arbeitsweise des *D 172*

impuls die in Bild 3.5 dargestellte Zeitfolge von Operationen aus:

1. Trennen des Slave vom Master (Torschaltung G 5, G 6 sperrt).
2. Eingabe des Signals von den J- und K-Eingängen in den Master (Torschaltung G 1, G 2 öffnet).
3. Sperren der J- und K-Eingänge (G 1, G 2).
4. Übertragen der Information vom Master zum Slave (Torschaltung G 5, G 6 öffnet).

Bild 3.6a zeigt das Symbol eines solchen Schaltkreises, die Ziffern geben die zugehörigen Anschlußstifte an (siehe auch Anhang).
Das dynamische Verhalten geht aus der Funktionstabelle, oft als Wahrheitstafel bezeichnet, hervor (Bild 3.6b). tn bezeichnet die Zeit vor, tn + 1 die Zeit nach dem Taktimpuls.

1. Liegt an mindestens einem J-Eingang und mindestens einem K-Eingang L-Pegel, so bewirkt ein Taktimpuls keine Änderung (1. Zeile der Wahrheitstafel).
2. Liegt an mindestens einem J-Eingang L-Pegel und an allen K-Eingängen H-Pegel, so schalten unabhängig vom Zu-



t_n		t_{n+1}	
J	K	Q	$\bar{Q}$
L	L	Q	$\bar{Q}$
L	H	L	H
H	L	H	L
H	H	$\bar{Q}$	Q

b)

Bild 3.6 JK-Master-Slave-Flip-Flop. a — Schaltsymbol; b — Funktionstabelle

stand vor dem Taktimpuls mit dessen H/L-Flanke die Ausgänge Q auf L und $\overline{Q}$ auf H (2. Zeile der Wahrheitstabelle).

3. Liegen alle J-Eingänge auf H und mindestens ein K-Eingang auf L-Pegel, so schalten unabhängig vom Zustand vor dem Taktimpuls Q auf H und $\overline{Q}$ auf L (3. Zeile der Wahrheitstabelle).
4. Liegen alle J- und K-Eingänge auf H, so ändert der Taktimpuls den zum Zeitpunkt t_n vorhandenen Pegel an den Ausgängen. Die Umschaltung an den Ausgängen erfolgt mit der H/L-Flanke des Taktimpulses (4. Zeile der Wahrheitstabelle).

Das FF erlaubt eine maximale Taktfrequenz von $>$ 15 MHz. Die Eingänge T, R und S bilden je 2 Lasteinheiten, die Ausgänge können 10 LE aufnehmen. Die Flankensteilheit des Taktimpulses soll unter 500 ns liegen.

Die Anwendungsmöglichkeiten des *D 172* sind sehr vielseitig. Er kann sowohl als statischer Speicher (siehe vorheriger Abschnitt) oder auch in Impulszählern, Frequenzteilern und Schieberegistern benutzt werden (siehe folgende Abschnitte).

3.1.4. Das D-Flip-Flop *MH 7474 (D 274)*

In digitalen Meßgeräten sind häufig Zwischenspeicher nötig, die den letzten Meßwert für die Anzeige speichern, während die Messung automatisch wiederholt wird. Diese Aufgabe lösen D-FF, von denen sich beim Schaltkreis *MH 7474* (TESLA, ČSSR) zwei in einem Gehäuse befinden. Der an den D-Eingängen anliegende Pegel wird mit der L/H-Flanke des Taktimpulses eingespeichert und erscheint am jeweiligen Q-Ausgang, das negierte Signal liegt an den jeweiligen Ausgängen Q. Statisches Setzen und Rücksetzen ist mit den Eingängen R und S ebenfalls möglich.

Das D-FF läßt sich auch als binärer Impulszähler oder binärer Frequenzteiler einsetzen.

3.2. Trigger

Als Trigger werden solche bistabilen Multivibratoren bezeichnet, die ihre beiden stabilen Zustände in Abhängigkeit von der Amplitude des Eingangssignals einnehmen. Sie passen Eingangssignale beliebiger Kurvenform (z. B. Sinus, Trapez) und wählbarer Amplitude an den TTL-Pegel an. Bild 3.7 zeigt als Beispiel die Umwandlung einer Sinusschwingung in eine Rechteckwelle.

3.2.1. Trigger mit niederohmigem Eingang

An vielen Signalquellen, z. B. am Ausgang niederohmiger Transistorschaltungen, genügt der einfache Trigger nach Bild 3.8.
Die Diode und der Rückkopplungswiderstand bewirken eine Hysterese von etwa 0,7 V. Der Trigger schaltet also bei etwa 2,1 V am Eingang auf H-Pegel am Ausgang und bei etwa 1,4 V am Eingang auf L-Pegel zurück. Voraussetzung ist jedoch ein geringer Quellenwiderstand ($\leq 250\,\Omega$), sonst entsteht über den aus dem Eingang herausfließenden Strom von maximal 1,6 mA schon eine zu hohe Eingangsspannung. Die Lastfaktoren an Eingang und Ausgang der Schaltung bleiben erhalten, weil in den stabilen Zuständen über den Widerstand kein zusätzlicher Strom fließt. Eine weitere niederohmige Schaltung zeigt Bild 3.9. Hier wurde ein Expander *D 160* nach Art des herkömmlichen Transistor-*Schmitt*-Triggers mit Rückkopplungswiderstand in den Emittern geschaltet. Bei dieser Schaltung liegt die Anschaltschwelle bei 0,75 V, die Abschaltung erfolgt bei 0,70 V. Auch dieser Trigger darf nur von Spannungsquellen mit einem maximalen Innenwiderstand von 250 Ω angesteuert werden.

3.2.2. Trigger mit hochohmigem Eingang

Für Spannungsquellen mit größerem Innenwiderstand (z. B. Fototransistoren) sind hochohmige Trigger erforderlich. Bild 3.10 zeigt eine einfache Schaltungsmöglichkeit.

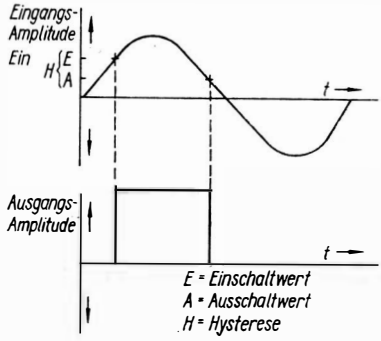


Bild 3.7
Umwandlung einer Sinusschwingung in eine Rechteckwelle

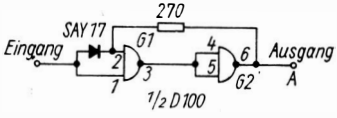


Bild 3.8
Niederohmiger Trigger mit Gattern

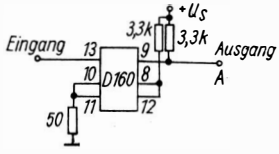


Bild 3.9
Niederohmiger Trigger mit Expander

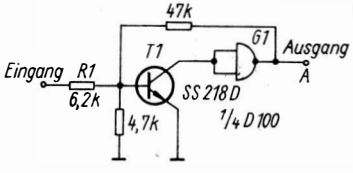


Bild 3.10
Hochohmiger Trigger mit Transistor

Die Anschaltschwelle liegt bei + 2 V, die Hysterese beträgt etwa 0,4 V. Für einige Anwendungsfälle ist auch dieser Trigger zu niederohmig. Der Widerstand R 1 darf zwar noch weiter vergrößert werden (bis auf 100 kΩ), jedoch verschiebt sich dabei auch die Anschaltschwelle weiter nach oben.

Deshalb ist es häufig zweckmäßiger, zwischen die hochohmige Spannungsquelle und den Trigger noch einen Impedanzwandler (z. B. einen Emitterfolger) zu schalten. Dann reicht auch der einfachere niederohmige Trigger nach Bild 3.10 aus. Für Signale im mV-Bereich lassen sich hochohmige Trigger mit integrierten Operationsverstärkern aufbauen.

3.2.3. Der integrierte Trigger *SN 7413 N*

Trigger werden in praktischen Schaltungen häufig benötigt. Deshalb sind neben den zuvor beschriebenen Schaltungen noch einige weitere Varianten bekannt.

Die zuverlässigste und für den Anwender einfachste Lösung sind monolithisch integrierte *Schmitt*-Trigger, die keinerlei externe Bauelemente erfordern. Der integrierte Schaltkreis *SN 7413 N* enthält 2 temperaturkompensierte *Schmitt*-Trigger mit je 4 als NAND verknüpften Eingängen. Die Hysterese beträgt 0,8 V, die Eingänge bilden eine Standardlast (1,6 mA), der Ausgang kann 10 Lasteinheiten aufnehmen.

3.3. Astabiler Multivibrator

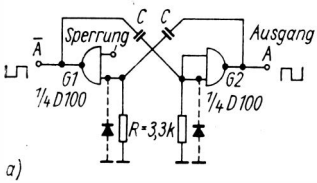
Astabile Multivibratoren (AM) sind stark rückgekoppelte RC-Verstärker und eignen sich zur Schwingungserzeugung. Die Größe der Kondensatoren und Widerstände bestimmt die Schwingfrequenz. Die Kurvenform des Ausgangssignals ist mäanderförmig oder rechteckig.

3.3.1. Symmetrischer astabiler Multivibrator

Bild 3.11 zeigt einen symmetrischen AM. Die beiden Gatter werden in einem Arbeitspunkt betrieben, der zwischen den Bereichen der Logikpegel liegt. An den relativ hohen Widerständen R 1 und R 2 fällt durch den Eingangsstrom eine Spannung von etwa 1,5 V ab. (Meßbar, wenn eine Kopplung noch fehlt!) Bei diesem Arbeitspunkt reicht die Verstärkung der Gatter trotz Sättigung an den Ausgängen zum sicheren Anschwingen aus. Leider dürfen die Widerstände im Wert nur geringfügig schwanken (2,2 kΩ — 4,7 kΩ), so daß sich die Frequenz nur durch Variation der Kondensatoren verändert. Für die Berechnung der Frequenz gilt in Näherung:

$$f = \frac{1{,}42}{R\,1\,C\,1 + R\,2\,C\,2}\,. \qquad (1)$$

Die Flankensteilheit der Ausgangsspannung dieses AM reicht nicht aus, um einen Flip-Flop vom Typ *D 172* anzusteuern. Deshalb muß man dem Ausgang des AM ein einfaches Gatter oder einen Trigger (z. B. nach Bild 3.8) nachschalten. Dies sollte bereits beim Entwurf einer Schaltung berücksichtigt sein. Wird einer der zwei Eingänge der Gatter benutzt, um den AM ein- oder auszuschalten, so ist zu beachten, daß L-Pegel an einem Eingang den zugehörigen Ausgang sofort auf H schaltet. In vielen Fällen sollen jedoch die Ausgangsimpulse immer die gleiche, von den RC-Gliedern bestimmte Dauer haben (z. B. bei einem Metronom). Eine Start/Stop-Schaltung sichert, daß der AM erst abschaltet, wenn auch die RC-Glieder die Umschaltung bewirken würden. Bild 3.12 zeigt die Schaltung. Die Gatter G 1 und G 2 bilden wieder den AM, G 2 und G 3 stellen außerdem einen statischen BM dar.



a)

Bild 3.11
a — Symmetrischer astabiler Multivibrator;
b — Spannungsverlauf an einem astabilen Multivibrator nach

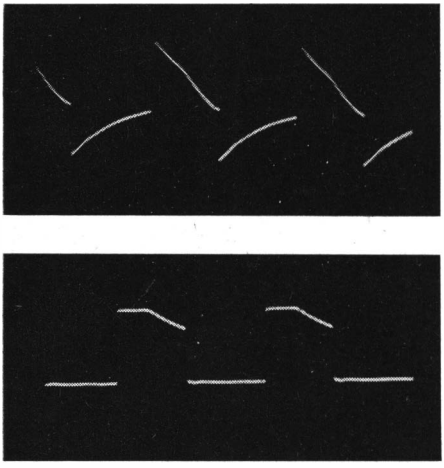


Bild 3.11. Oben: am Eingang von G 2. Unten: am Ausgang von G 2

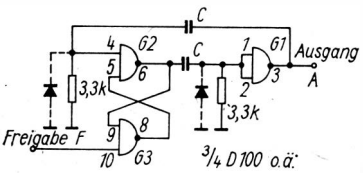
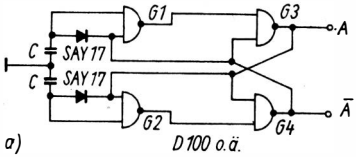


Bild 3.12
Symmetrischer AM mit Start/Stop-Schaltung

Der AM schwingt, solange am Freigabeeingang (im Beispiel Stift 10) L-Pegel liegt. Schaltet dieser Eingang auf H, so wird der Ausgang von G 3 auf L gesetzt, sowie auch am anderen Eingang dieses Gatters (Stift 9) der H-Pegel erscheint.

Damit liegt an einem Eingang (Anschluß 3) von G 2 L-Pegel und dessen Ausgangssignal bleibt auf H. Die in Bild 3.11, Bild 3.12, Bild 3.16, Bild 3.17 und Bild 7.4a gestrichelt eingezeichneten Dioden sind theoretisch erforderlich, damit an den Eingängen der betreffenden Gatter auch beim Zusammentreffen aller ungünstigen Umstände (worst case: Betriebstemperatur + 70 °C [343k] Speisespannung 5,25 V usw.) nicht unzulässig hohe negative Spannungsspitzen auftreten. Bei den



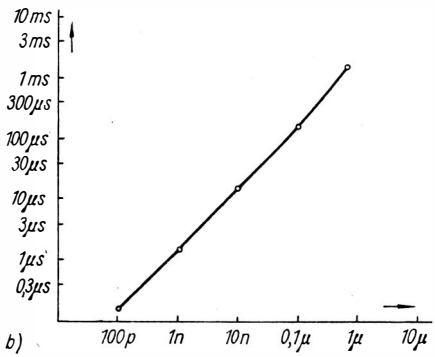


Bild 3.13 a — Symmetrischer AM mit steilen Flanken am Ausgang; b — Abhängigkeit der Schwingfrequenz von den Kondensatoren

Schaltungen des Amateurs sind diese Dioden nicht unbedingt erforderlich. Schaltkreise der Serie *D 20* und einige ausländische Serien enthalten bereits interne Schutzdioden. Bild 3.13a zeigt eine weitere symmetrische Schaltung. Sie hat den Vorteil, daß beide Ausgänge ausreichend steile, gegenphasige Impulse abgeben.

3.3.2. Astabiler Multivibrator mit variabler Frequenz

Die vorstehend aufgeführten AM haben den Nachteil, daß sich die Schwingfrequenzen nur durch Umschalten der Kondensatoren, also nicht kontinuierlich ändern. Die unsymmetrische Schaltung nach Bild 3.14 vermeidet diesen Nachteil, das Impuls-Pausen-Verhältnis ihres Ausgangssignals ist jedoch von

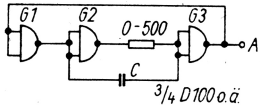


Bild 3.14
Unsymmetrischer astabiler Multivibrator

der Frequenz abhängig. Wenn Impuls und Pause die gleiche Länge haben sollen (wie z. B. bei einer elektronischen Morsetaste) muß ihr ein dynamischer BM (z. B. *D 172*, 1/2 *MH 7474*) folgen.

3.3.3. Astabiler Multivibrator mit *Schmitt*-Trigger

Mit dem integrierten *Schmitt*-Trigger *SN 7413 N* lassen sich AM aufbauen, die sehr wenig Platz beanspruchen und wegen der internen Temperaturkompensation des Triggers größere Frequenzstabilität bei Schwankungen der Umgebungstemperatur erreichen als die Schaltungen mit einfachen NAND-Gliedern (Bild 3.15).

3.4. Monostabile Multivibratoren

Wie schon die Bezeichnung andeutet, haben monostabile Multivibratoren nur eine feste Ruhelage der Arbeitspunkte. Ein Eingangsimpuls versetzt sie in ihre aktive Arbeitslage und nach einer durch Schaltung und Bauelemente bestimmten Zeit nehmen sie die Ruhelage wieder ein.

Erst nach einer bestimmten Erholzeit ist es möglich, sie erneut zu aktivieren.

Der monostabile Multivibrator eignet sich als Verzögerungs-

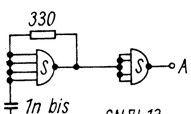


Bild 3.15
Astabiler Multivibrator mit integriertem *Schmitt*-Trigger

glied, Teiler für Festfrequenzen, zur Zeitüberwachung, zur Impulsformung usw.

3.4.1. Monostabile Multivibratoren für kurze Verzögerungszeiten

Einfache monostabile Schaltungen zeigen Bild 3.16, Bild 3.17 und Bild 3.18. Ihnen ist gemeinsam, daß sie wegen der niederohmigen Eingänge der Schaltkreise für längere Verzögerungszeiten weniger geeignet sind. Die Schaltung nach Bild 3.18 erreicht mit dem angegebenen Kapazitätswert eine Impulszeit von etwa 1,5 ms. Alle drei Varianten schalten mit der H/L-Flanke des Eingangsimpulses in die aktive Stellung um und kippen, nachdem der Kondensator umgeladen ist, wieder in die Ruhelage. Dabei ist gleichgültig, welcher Pegel dann am Eingang anliegt.

3.4.2. Monostabile Multivibratoren für längere Impulszeiten

Längere Impulszeiten mit demselben Ladekondensator erfordern einen größeren Widerstand im Lade- oder Entladestromkreis der monostabilen Schaltung. Ersetzt man das niederohmige NAND-Gatter am Ausgang des zeitbestimmenden RC-Gliedes durch einen Transistor, so darf der Widerstand beträchtlich erhöht werden.

Bild 3.19 zeigt eine Schaltung mit pnp-Transistor, die Schaltung von Bild 3.20 verwendet einen npn-Typ. In beiden Schaltungen beträgt die Länge der ausgelösten Impulse:

$$t_i = 0{,}7\ RC. \tag{2}$$

Im Interesse einer langen Impulszeit bei möglichst kleinem Kondensator C sollen die Widerstände R große Werte annehmen. Die Stromverstärkung der Transistoren bestimmt die maximal zulässige Größe der Widerstände:

$$R \leq 3\ k\Omega \cdot B_{min}. \tag{3}$$

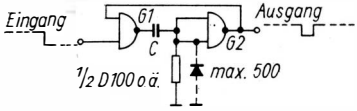
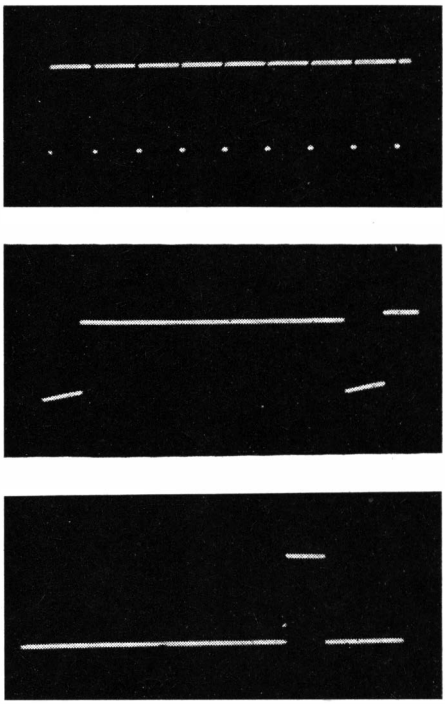


Bild 3.16
a — Monostabiler Multivibrator mit NAND-Gliedern;
b — Oben: Eingangsimpulse; Mitte: Impulse am Eingang von G 2, Unten: Ausgangsimpulse



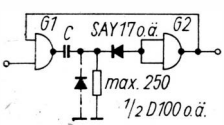


Bild 3.17
Monostabiler Multivibrator mit Temperaturkompensation

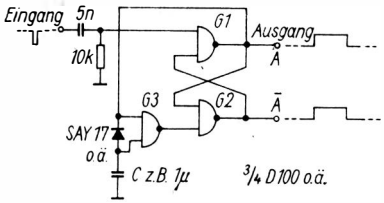


Bild 3.18
Monostabiler Multivibrator mit drei NAND-Gliedern

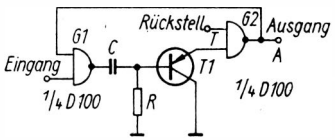


Bild 3.19
Monostabiler Multivibrator mit pnp-Transistor

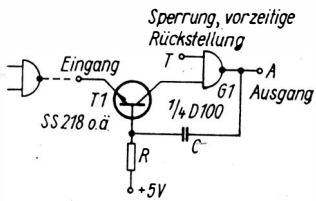


Bild 3.20
Monostabiler Multivibrator mit npn-Transistor

Der Multivibrator in Bild 3.19 löst mit dem H/L-Übergang, die Schaltung von Bild 3.20 mit der L/H-Flanke des Eingangssignals aus. L-Pegel an den Rückstelleingängen der Schaltungen setzt die Ausgänge der Multivibratoren vor Ablauf der Impulszeit auf H-Pegel zurück. Die Variante von Bild 3.20 benötigt in Teilerketten ein Gatter je Stufe weniger, weil die Rückkopplung direkt auf den Transistor wirkt. Sie ist deshalb für den Anwender besonders interessant. Ein Anwendungsbeispiel folgt in Abschnitt 7.3.

3.4.3. Der integrierte monostabile Multivibrator *SN 74121 N*

Da häufig monostabile Schaltungen erforderlich sind, gibt es auch hierfür monolithisch integrierte Schaltkreise, bei denen

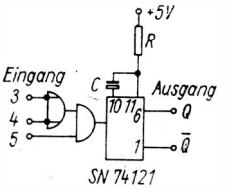


Bild 3.21
Schaltung mit integriertem monostabilen Multivibrator mit hoher Genauigkeit der Impulszeit

nur das zeitbestimmende RC-Glied angeschaltet werden muß. Bei geringeren Ansprüchen an die Genauigkeit der Impulszeit des Ausgangsimpulses kann man das RC-Glied auch mit einem internen Widerstand bilden. Als äußere Beschaltung ist in diesem Falle nur der zeitbestimmende Kondensator erforderlich (Bild 3.22).

Der Eingang 5 hat die Charakteristik eines temperaturkompensierten *Schmitt*-Triggers. Er läßt sich mit Flanken beliebiger Steilheit ansteuern und spricht auf die L/H-Flanke des Eingangsimpulses an, ist aber nur wirksam, wenn die Eingänge 3 oder 4 auf L-Pegel liegen. Liegt umgekehrt der Eingang 5 auf H, so löst eine H/L-Flanke an einem der Eingänge 3 oder 4 den Impuls aus.

Der Ausgang 6 führt in der Ruhelage L-Pegel und für die Zeit der Arbeitslage H-Signal, am Ausgang 1 steht das Signal in Gegenphase zur Verfügung.

Die Impulsdauer ti ist:

$$ti = 0{,}7\ RC. \tag{6}$$

Dabei sind:

$C = 10\ pF \ldots 10\ \mu F$ und
$R = 2\ kOhm \ldots 40\ kOhm$.

Mit diesen Werten erreicht man in Schaltung nach Bild 3.21 Impulszeiten bis zu 40 s. In der Schaltung Bild 3.22 ist der interne Widerstand (etwa 2 kΩ) für das zeitbestimmende RC-Glied benutzt. Sehr lange Impulszeiten sind bei der Schaltung mit zusätzlichem äußeren Transistor (Bild 3.23) möglich, weil hier der Widerstand des zeitbestimmenden RC-Gliedes wesentlich größer werden darf.

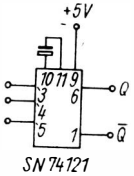


Bild 3.22
Monostabiler Multivibrator mit nur einem äußeren zeitbestimmenden Element

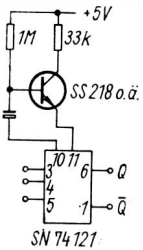


Bild 3.23
Monostabiler Multivibrator für besonders lange Zeiten

3.5. Verzögerungsschaltungen

Die Verzögerung von Impulsen oder Impulsflanken ist auch mit Schaltungen möglich, die keine Rückkopplung verwenden, also nicht zu den Multivibratoren zählen. Im einfachsten Fall kann die Schaltzeit der NAND-Glieder die Impulszeit bestimmen.

Eine L/H-Flanke am Eingang der Schaltung von Bild 3.24 löst am Ausgang einen Impuls aus, dessen Länge etwa gleich der Schaltzeit des NAND-Gliedes G 1 ist. Am Eingang 5 von G 2 steht schon H, während am Eingang 4 noch H liegt. Ausgang 6 von G 2 schaltet deshalb auf L. Erst wenn G 1 umgeschaltet hat, erhält auch 4 L-Pegel, und G 2 schaltet seinen Ausgang wieder auf H.

Der Ausgangsimpuls dieser Schaltung ist außerordentlich kurz, da die Verzögerungszeit des NAND-Gliedes G 1 nur etwa 20 ns beträgt. Durch Schaltkapazitäten oder die Kapazitäten einer längeren Leitung kann sein Pegel unter das zulässige Maß absinken, so daß er nicht ausreicht, um nachfolgende Schal-

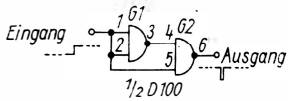


Bild 3.24
Einfache Verzögerungsschaltung

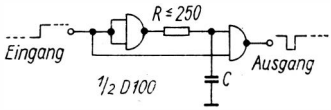


Bild 3.25
Verzögerungsschaltung mit RC-Glied

tungen anzusteuern. In der Schaltung nach Bild 3.25 addieren sich die Schaltzeiten des Gatters G 1 und die Zeitkonstante des RC-Gliedes. Die Länge des Ausgangssignals läßt sich mit größerer Genauigkeit festlegen.

4. Impulszähler und Frequenzteiler

Teiler für beliebige variable Frequenzen sind ebenso und in gleicher Schaltung wie Impulszähler aus bistabilen Multivibratoren aufgebaut. Ein Zähler bis 16 eignet sich demzufolge auch, um eine beliebige variable Frequenz durch 16 zu teilen. Es sind nur ganzzahlige Teilerverhältnisse möglich.
Während beim Zähler mehrere Ausgänge zur Ermittlung des Zählerinhalts gleichzeitig bewertet werden, interessiert beim Teiler nur der Ausgang, an dem das Eingangssignal um den gewünschten Faktor geteilt anliegt.
Die BM eines Zählers können alle zugleich kippen, wenn der Eingangsimpuls an allen Takteingängen gleichzeitig anliegt. Sind die Takteingänge an einem Ausgang eines jeweils vorangehenden BM angeschlossen, so kippen sie nacheinander, um die Schaltzeit des/der steuernden Flip-Flop gegenüber dem Eingangsimpuls verzögert.
Deshalb spricht man von Synchronzählern bzw. -teilern oder asynchronen Zählern/Teilern.
Synchronzähler sind schneller, erfordern jedoch bei größerem Zählumfang mehr Schaltaufwand.

4.1. Binäre Teiler/Zähler

Wie in Abschnitt 3.1.2. bereits beschrieben, gibt ein BM auf zwei Eingangsimpulse einen Ausgangsimpuls ab. Er teilt also eine anliegende Pulsfrequenz durch zwei. Verbindet man einen Ausgang mit dem Takteingang eines weiteren Flip-Flop, so beträgt die Ausgangsfrequenz nur noch ein Viertel der am ersten Eingang anliegenden. Durch Kettenschaltung beliebig vieler weiterer BM entstehen Teilerverhältnisse, die der Gleichung (7) folgen:

$$m = 2^n. \tag{7}$$

Da diese Kettenschaltung nur Teilerverhältnisse durch ganz-

zahlige Vielfache der Zahl 2 zuläßt, heißen sie binäre Teiler. Bild 4.1a zeigt als Beispiel einen asynchronen Teiler mit $n = 2$ Flip-Flop *D 172*. Nach Gl. (7) erhält man ein Teilerverhältnis von $m = 2^2 = 4$.

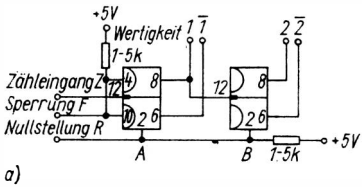
Dieses Teilerverhältnis ist von der Frequenz unabhängig, d. h., die Schaltung kann z. B. 16 Hz auf 4 Hz oder 4 MHz auf 1 MHz herunterteilen. An den Ausgängen der einzelnen FF steht das Signal um die entsprechenden Verhältnisse geteilt zur Verfügung (bei A um 2:1, bei B 4:1).

Bild 4.2 zeigt diesen Sachverhalt als Zeitdiagramm. Dabei liegt die Eingangsfrequenz ausreichend niedrig, so daß die Schaltzeit der BM vernachlässigt werden kann. H-Pegel am Freigabeeingang erlaubt die Verarbeitung von Impulsen, L-Pegel sperrt die Schaltung.

Soll die gleiche Schaltung als Zähler arbeiten, so werden die Ausgänge beider Flip-Flops ausgewertet. Den Ausgängen von Binärzählern mit n Flip-Flops sind die Wertigkeiten:

$$w = 2^{n-1} \tag{8}$$

zugeordnet, wobei n vom Eingang der Schaltung her zählt. Im Beispiel ergibt sich für den Ausgang von Flip-Flop A die Wer-



Eingangs-impulse	Pegel a. d. Ausg. 1	2
0	L	L
1	H	L
2	L	H
3	H	H

b)

Bild 4.1 a — Binärzähler/-teiler mit 4 Stellungen bzw. 4:1; b — Funktionstabelle

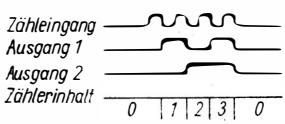
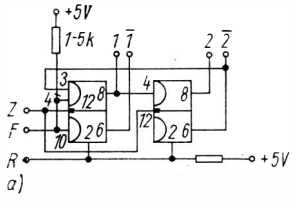


Bild 4.2 Zeitdiagramm der Funktion eines Binärzählers

tigkeit 1, für den Ausgang von B die Wertigkeit 2. Die Zahl der in den Zähler eingelaufenen Impulse bestimmt die Summe der Wertigkeiten jener Stufen, die sich beim betrachteten Zeitpunkt in Arbeitslage befinden. Die Darstellung mit Hilfe der Wertigkeit nach (8) heißt Binärkode. Die Umwandlung der Binärdarstellung einer Zahl in das Dezimalsystem oder in andere Darstellungssysteme erfolgt mit Dekodern (siehe Abschnitt 5.). Der Dekoder vereinfacht sich oft beträchtlich, wenn bei den zu bewertenden Ausgängen auch das negierte Signal zur Verfügung steht.
Mit einem Impuls (L-Pegel) auf der Rückstellungsleitung läßt sich der Zähler nach der Auswertung in die Ausgangslage zurückversetzen.

4.2. Zähler mit verschiedenem Zählumfang

Binärzähler haben den Nachteil, daß mit ihnen nur ein Zählumfang mit Vielfachen der Zahl 2 möglich ist. Durch Rückführungen oder andere Schaltungsmaßnahmen kann man jedoch erreichen, daß von den möglichen Zählerstellungen einige übersprungen werden. Dadurch ergibt sich ein anderer Zählumfang bzw. ein anderes Teilungsverhältnis. Während der Vorteil des veränderten Teilungsverhältnisses offensichtlich ist, wirkt sich die Einschränkung beim Zähler vor allem als Materialeinsparung im nachfolgenden Dekoder aus, weil weniger Kombinationen der Eingangssignale möglich sind als bei einem Binärdekoder mit gleich vielen Eingängen.
An einem Zähler mit 3 Stellungen sei die Einschränkung des Zählumfangs näher erläutert. Ein solcher Zähler wird z. B. für den Stundenzehner in einer elektronischen Uhr mit Ziffernanzeige benötigt. Der Zählumfang eines Binärzählers mit 2 FF beträgt 4 Stellungen. Er soll nun so auf 3 Stellungen eingeschränkt werden, daß die Zuordnung der Wertigkeit nach dem Binärkode zu den Ausgängen der FF erhalten bleibt. Bild 4.3a zeigt die Schaltung eines Synchronzählers mit den Stellungen 0, 1 und 2, Bild 4.4 das zugehörige Zeitdiagramm. In Ausgangslage führen die Ausgänge 1 und 2 L-Potential. Mit der



Eingangs-impulse	Pegel a d. Ausg. 1	2
0	L	L
1	H	L
2	L	H

b)

Bild 4.3 a — Zähler mit 3 Stellungen; b — Funktionstabelle

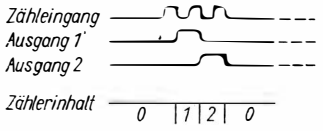


Bild 4.4
Zeitdiagramm des Zählers mit 3 Stellungen

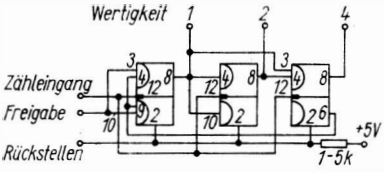
H/L-Flanke des ersten Taktimpulses kippt der erste FF, sein Ausgang 8 (Wertigkeit 1) schaltet auf H-Pegel. Am Flip-Flop B ist dieser Eingangsimpuls unwirksam, weil dessen J-Eingänge auf L-Pegel liegen.

Der nächste Taktimpuls schaltet beide FF, A kippt wieder in die Ausgangslage und B (Wertigkeit 2) in Arbeitslage. Über die Rückführung liegt nun L-Signal am J-Eingang von Flip-Flop A. Beim nächsten Eingangssignal kippt er deshalb nicht. Diese beim Binärzähler vorhandene Stellung (Wertigkeit 1 und Wertigkeit 2 eingeschaltet) ist also übersprungen. Statt dessen wird das L-Signal am Eingang von B zu dessen Ausgang geschoben (Zeile 2 der Funktionstabelle des *D 172* in Bild 3.6b). Damit ist die Ausgangsstellung erreicht, und das Zählen kann von neuem beginnen.

Der geschilderte Ablauf wird häufig auch in einer Funktionstabelle erfaßt, vor allem bei umfangreichen Schaltungen ist diese Darstellung einfacher als ein Zeitdiagramm.

Die ausführliche Beschreibung des Funktionsablaufs erübrigt Erläuterungen zu Bild 4.5 bis Bild 4.11. Verfolgt man die Signale nach der oben beschriebenen Art, so läßt sich der Ablauf schnell ermitteln.

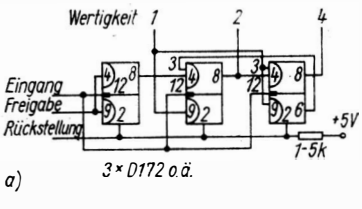
Durch Kettenschaltung der verschiedenen Zähler können alle erforderlichen Teilerverhältnisse realisiert werden.



Eingangs-impulse	Pegel a. d. Ausg. 1	2	4
0	L	L	L
1	H	L	L
2	L	H	L
3	H	H	L
4	L	L	H

b)

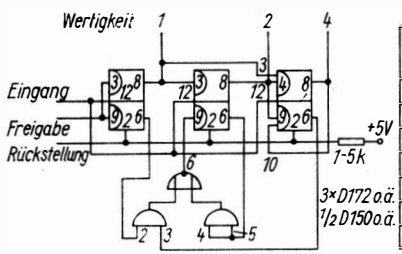
Bild 4.5 a — Zähler mit 5 Stellungen; b — Funktionstabelle



Eingangs-impulse	Pegel a. d. Ausg. 1	2	4
0	L	L	L
1	H	L	L
2	L	H	L
3	H	H	L
4	L	L	H
5	H	L	H

b)

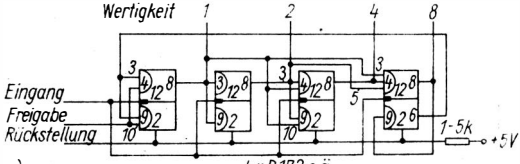
Bild 4.6 a — Zähler mit 6 Stellungen; b — Funktionstabelle



Eingangs-impulse	Pegel a. d. Ausg. 1	2	4
0	L	L	L
1	H	L	L
2	L	H	L
3	H	H	L
4	L	L	H
5	H	L	H
6	L	H	H

b)

Bild 4.7 a — Zähler mit 7 Stellungen; b — Funktionstabelle

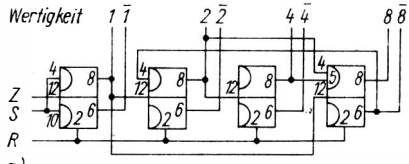


a)

Eingangs-impulse	Pegel an den Ausgäng 1	2	4	8
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H

b)

Bild 4.8 a — Zähler mit 9 Stellungen; b — Funktionstabelle

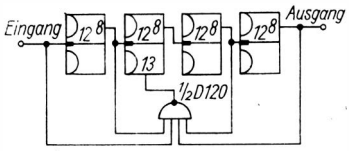


a)

Eingangs-impulse	Pegel an den Ausgäng 1	2	4	8
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H

b)

Bild 4.9
a — Zähler mit 10 Stellungen;
b — Funktionstabelle



a)

Eingangs-impulse	Pegel an den Ausg. 1	2	4	8
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H
10	L	H	L	H
11	H	H	L	H
12	L	L	H	H
13	H	L	H	H

b)

Bild 4.10 a — Zähler mit wählbarer Stellenzahl;
b — Funktionstabelle

Bild 4.9a (Zähler mit 10 Stellungen) z. B. entstand aus dem Zähler mit 5 Stellungen, dem ein FF vorgeschaltet wurde. Bild 4.10a zeigt eine Schaltung, bei der das Teilerverhältnis auf eine andere Art als in den übrigen abgebildeten Zählerschaltungen eingeschränkt wurde. Von den mit 4 Flip-Flops möglichen 16 Stellungen wurden 2 übersprungen. Dies wird erreicht, indem der Zähler mit der L/H-Flanke des letzten Eingangsimpulses und einem zusätzlichen NAND-Glied auf „voll" schaltet. Mit der H/L-Flanke dieses Impulses kippen dann alle Flip-Flops in die Ausgangslage zurück. Wegen dieser Unregelmäßigkeit beim letzten Eingangsimpuls (bei den zuvor beschriebenen Zählern kippen die Flip-Flops nur mit der H/L-Flanke) ist diese Schaltung vor allem als Teiler geeignet. Bei der Anwendung als Zähler steht an den Ausgängen eine von der Zahl der Eingangsimpulse abweichende Wertigkeit, solange der letzte Eingangsimpuls auf H-Pegel liegt.

Das Teilerverhältnis läßt sich leicht nach folgendem Schema programmieren:

1. Von der dem gewünschten Teilerverhältnis zugeordneten Wertigkeit 1 subtrahieren (im Beispiel Bild 4.10 $14 - 1 = 13$).
2. Alle bei dieser Stellung auf H-Pegel liegenden Q-Ausgänge der Teiler-Flip-Flops und den Eingangstakt mit je einem Eingang des NAND-Gliedes verbinden (im Beispiel: Flip-Flops mit den Wertigkeiten 1, 4, 8).
3. Ausgang des NAND-Gliedes auf den Setzeingang (Stift 13) aller Flip-Flops schalten, die in dieser Stellung L-Pegel am Q-Ausgang führen (im Beispiel Flip-Flop mit der Wertigkeit 2).

Dieses Verfahren kann bei Schaltungen mit beliebig vielen Flip-Flops angewendet werden und führt bei großen Teilerverhältnissen zu beträchtlichen Materialeinsparungen gegenüber den Kettenschaltungen verschiedener Teiler.

4.3. Monolithisch integrierte Teiler/Zähler

Einige Teilungsverhältnisse werden so häufig verwendet, daß dafür monolithisch integrierte TTL-Schaltkreise entwickelt wurden, die alle benötigten Flip-Flops und Verbindungen enthalten.

4.3.1. Integrierte Zähldekade *MH 7490*

Der Schaltkreis *MH 7490* von TESLA enthält die 4 Flip-Flops für einen Zähler mit den Stellungen 0 bis 9. Sie sind als Asynchronzähler geschaltet. Der Ausgang des ersten FF und der Eingang des zweiten sind herausgeführt, so daß auch Teilungsverhältnisse 5:1 und 2:1 möglich sind. Für die Funktion einer Zähldekade muß man die Stifte verbinden. Die Funktion ist leicht überschaubar, die Schaltung entspricht Bild 4.3.

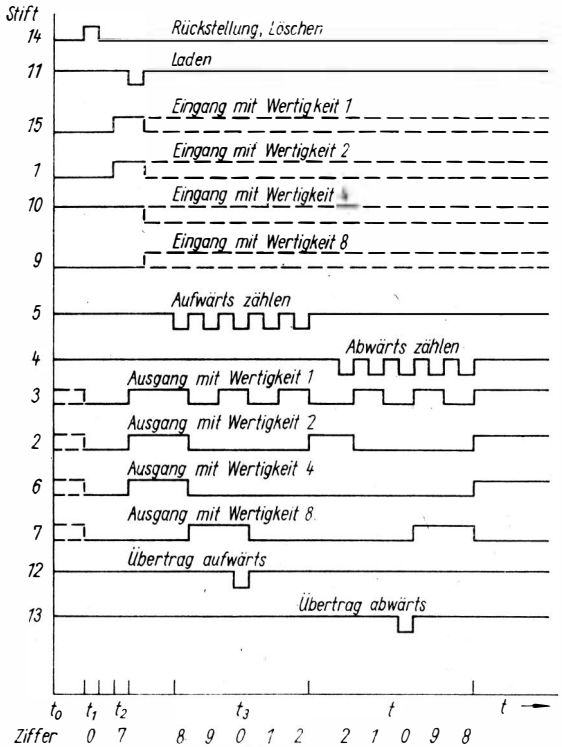


Bild 4.11 Zeitdiagramm der integrierten Zähldekade *D 192*

4.3.2. Schnelle synchrone Vorwärts-/Rückwärtszähler

Der integrierte Schaltkreis *D 192* enthält einen binärkodierten Dezimalzähler, der *D 193* einen 4-bit-Binärzähler. Beide erlauben eine maximale Taktfrequenz von mindestens 25 MHz (typisch sind 32 MHz) und können sowohl vorwärts wie auch rückwärts zählen. Die Funktion des *D 192* sei an Hand des Zeitdiagramms Bild 4.11 erläutert. Der Zeitpunkt t = t0 entspricht dem Einschalten der Speisespannung; die Stellung der FF des Zählers ist unbestimmt.

Mit dem Löschimpuls (H-Pegel am Stift 14) stellt sich zum Zeitpunkt t1 die Ausgangslage ein. Zum Zeitpunkt t2 liegt am Übernahmeeingang (11) L-Pegel. Die an den Signaleingängen 15, 1, 10 und 9 liegenden Pegel werden eingespeichert und erscheinen an den Signalausgängen 3, 2, 6 und 7. Im Beispiel entspricht dies der Zahl $7{:}1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3$.

Liegt Stift 11 auf H-Pegel, so darf das Signal an den Eingängen 15, 1, 10 und 9 beliebige Pegel annehmen, es erfolgt keine Übernahme. Erscheinen am Eingang „Vorwärtszählen", Stift 5, einige Impulse mit L-Pegel, so kippen die FF des Zählers dementsprechend (Ausgänge 3, 2, 6 und 7). Am Ausgang „Übertrag plus" (Stift 12) erscheint synchron zum Eingangsimpuls L-Pegel, wenn der Zähler „voll" ist, d. h. wieder seine Ausgangslage erreicht. Während des Zeitabschnittes t3 zählt der Schaltkreis im Beispiel von der vorher eingestellten Zahl 7 aus weiter auf 8, 9, 0/plus-Übertrag, 1, 2. Im später folgenden Zeitabschnitt t4 wird über Eingang 4 wieder rückwärts gezählt. Der negative Übertrag erscheint synchron zum Eingangsimpuls am Ausgang 13.

Die Pegel an den Signalausgängen verarbeitet der Dekoder, der den Zählerstand auswertet und meist für die Anzeige aufbereitet. Die Übertragausgänge 12 und 13 sind mit möglichen weiteren Schaltkreisen verbunden (Bild 4.12).

Die Arbeitsweise der Zähldekade *D 192* unterscheidet sich von der des Binärzählers *D 193* nur durch den Zählumfang.

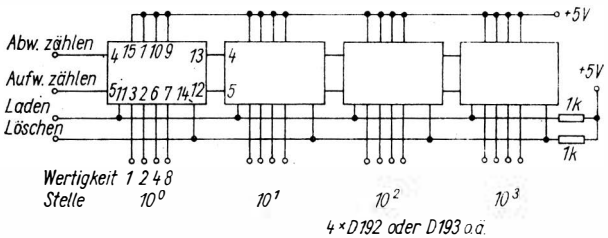


Bild 4.12 Vierstelliger Vorwärts-/Rückwärtszähler

5. Schieberegister

Schieberegister (SR) sind Anordnungen, die ebenfalls aus bistabilen Multivibratoren aufgebaut sind und vorwiegend zur Umwandlung digitaler Signale eingesetzt sind. Soll z. B. der Inhalt einer Zähldekade übertragen werden, so ist dies dadurch möglich, daß alle 4 Ausgänge je eine Leitung erhalten. Mehrere Dekaden erfordern entsprechend viele Leitungen. Die gespeicherte Zahl wird parallel übertragen.
Mit einem Schieberegister lassen sich die Pegel beliebig vieler einzelner Ausgänge nacheinander auf eine Leitung übertragen (man spricht von serieller Übertragung). Das SR wandelt auf der Senderseite die Informationsdarstellung parallel/seriell, auf der Empfängerseite seriell/parallel.

5.1. Schieberegister mit einzelnen Flip-Flops *D 172*

Bild 5.1 zeigt die Schaltung eines Schieberegisters (SR) für 4 bit. L-Pegel am Rücksetzeingang R stellt wieder alle Flip-Flops in Ausgangslage. Eine Signalfolge am Eingang, z. B. HLLH, wird mit den Taktimpulsen in das Register eingeschoben und steht dann an den Ausgängen A bis D parallel zur Verfügung. Liegt z. B. am Eingang H-Pegel, so bewirkt der erste Taktimpuls die Übernahme in das erste FF, an dessen Ausgang A

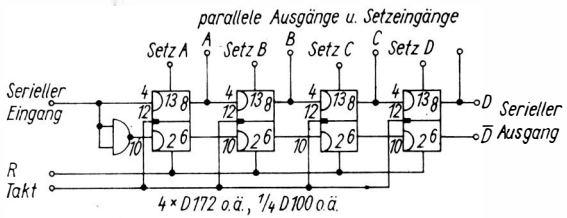


Bild 5.1 Schieberegister für serielle Eingabe

erscheint H-Pegel. Mit dem nächsten Taktimpuls wird die Stellung des ersten FF vom zweiten übernommen und das H-Signal weitergeschoben. Im Beispiel hat inzwischen das Eingangssignal auf L-Pegel gewechselt, deshalb liegt nach dem zweiten Taktimpuls L-Pegel an A, H-Pegel an B. Die Signalfolge HLLH ist nach 4 Taktimpulsen eingeschoben und kann nun parallel ausgewertet werden (z. B. durch Ziffernanzeige). Mit 4 weiteren Taktimpulsen ist auch die serielle Ausgabe über Ausgang D möglich. Liegt das negierte Signal an den Setzeingängen der Flip-Flops, so darf man auch parallel eingeben. Hierzu wäre bei der Schaltung nach Bild 5.1 ein *D 100* erforderlich, mit dem sich die Übernahme steuern ließe. Mit dieser Erweiterung eignet sich das SR auch zur Parallel/Serien-Wandlung.
Die Eingangssignale müssen entweder synchron mit dem Takt schalten, oder sie dürfen sich während des Taktimpulses nicht verändern.

5.2. Monolithisch integrierte Schieberegister

In der DDR werden zwei monolithisch integrierte Schieberegister gefertigt. Das 8-Bit-Schieberegister *D 191* arbeitet mit serieller Dateneingabe und serieller Datenausgabe. Die 8 internen Flip-Flops übernehmen die Information mit der L/H-Flanke des Taktimpulses. Das 4-Bit-Rechts/Links-Schieberegister *D 195* erlaubt serielle und parallele Dateneingabe und Datenausgabe. Dieser Baustein ist in der Anwendung wesentlich vielseitiger.
Serielle Dateneingabe, Schieberichtung rechts, ist über den seriellen Eingang (Stift 1) möglich, wenn der Steuereingang (6) auf L-Pegel liegt und der Takt an Stift 9 liegt. Die Information erscheint mit der H/L-Flanke des Taktimpulses an den Ausgängen 13 bis 10. L-Signale an Stift 6 verriegeln die Informationseingänge (Stifte 2 bis 5) und den zweiten Takteingang (8). Mit Schieberichtung links ist die Dateneingabe über den Informationseingang D (Stift 5) möglich, die anderen Informationseingänge müssen mit den Ausgängen des jeweils vorhergehen-

den FF verbunden sein (z. B. 4 mit 10 usw.); der Steuereingang liegt auf H-Pegel, und der Takt liegt an Stift 8. Das H-Signal am Steuereingang verriegelt den Takteingang Stift 9 und die Koppelgatter zwischen den FF.
Parallele Datenübernahme kann über die Eingänge Stift 2 bis 5 mit dem Takteingang Stift 8 in ähnlicher Form wie das „Linksschieben" erfolgen. Der Steuereingang liegt dabei auf H-Pegel. Die Signale an den Informationseingängen müssen vor dem Taktsignal anliegen.
Dieser Schaltkreis eignet sich z. B. als Speicher zwischen einer Zähldekade und dem zugehörigen Dekoder mit Ziffernanzeige. Bei Zähleranwendungen, wo eine Messung periodisch wiederholt wird, läuft dann die Anzeige nicht mit, sondern verändert sich nur bei einer Änderung des Meßwertes.
Außerdem kann der Schaltkreis auch als Parallel/Serien- oder Serien/Parallel-Umsetzer, als Register, als Frequenzteiler usw. arbeiten.

5.3. Monolithischer Datenspeicher *D 181*

Der 16-Bit-Speicher *D 181* besteht aus 16 FF, die in einer 4×4-Matrix angeordnet sind. Der praktische Einsatz dieses Speichers erfordert jedoch einen sehr hohen Aufwand für Adressierung und Steuerung.

6. Dekoder

Der Aufwand für die Speicherung und Übertragung digitaler Signale ist stark von der Art der Darstellung abhängig. Die Ziffern 0 bis 9 können z. B. über je eine Leitung oder auch binär verschlüsselt über 4 Leitungen übertragen werden. Auch andere Formen der Kodierung, die oft noch Fehlererkennung oder Fehlerkorrekturen zulassen, sind üblich.

6.1. Binärdekoder

Bild 6.1 zeigt den Stromlaufplan eines 4-Bit-Binärdekoders. Den Eingängen ist eine Wertigkeit zugeordnet. Die Summe der Wertigkeiten aller Eingänge, an denen bei einem bestimmten Eingangssignal H-Pegel liegt, bildet das entsprechende Ausgangssignal. Der Toreingang erfüllt zwei Aufgaben: L-Pegel am Toreingang sperrt den Dekoder, unabhängig vom Eingangssignal liegen dann alle Ausgänge auf H-Pegel. Damit ist auch die Zusammenschaltung mehrerer 4-Bit-Binärdekoder zur Auswertung einer beliebigen Zahl von Eingängen möglich. Bild 6.2 zeigt den Übersichtsschaltplan der Dekodierung eines 5-Bit-Binärsignals auf 32 Ausgänge.

6.2. BCD-Dekoder zur Ansteuerung von gasgefüllten Ziffernanzeigeröhren

Oft ist es günstig, den Inhalt eines Zählers oder Speichers mit einer Ziffernanzeige auszuwerten. Bild 6.3 zeigt einen Dekoder für BCD-Kode. Da die Zahl der zulässigen Kombinationen am Eingang gegenüber dem Binärkode eingeschränkt ist und die Transistoren in die Dekodierung einbezogen sind, ist der Aufwand gering. An den Eingängen sind auch die negierten Signale der einzelnen Wertigkeiten erforderlich, jedoch stehen diese

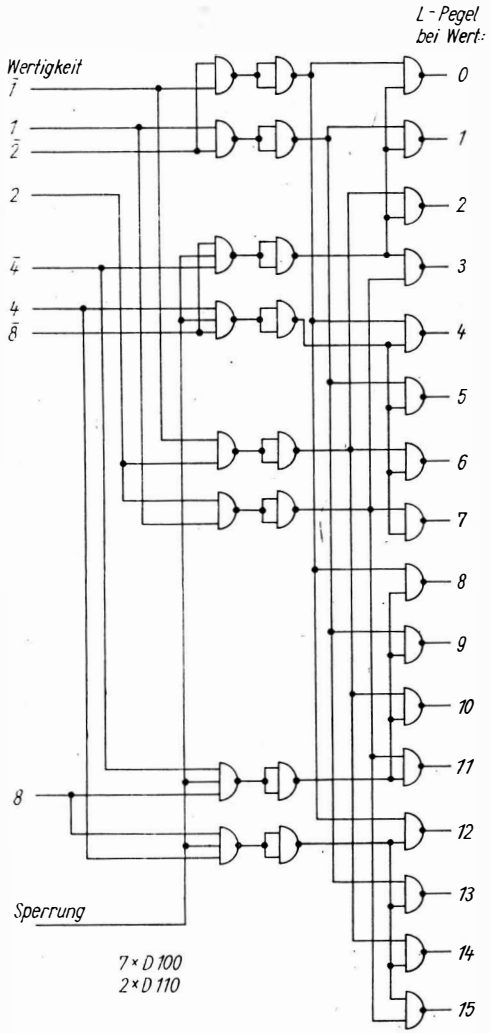


Bild 6.1 Stromlaufplan des 4-Bit-Binärdekoders

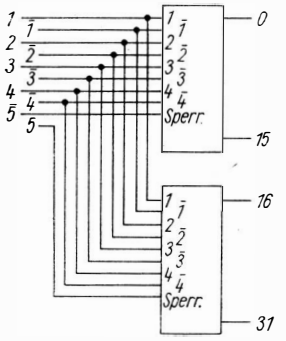


Bild 6.2
5-Bit-Binärdekoder

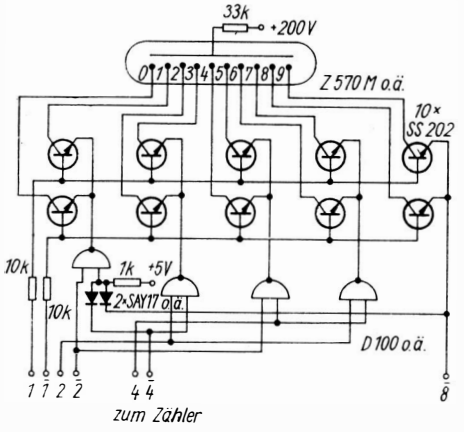


Bild 6.3 Dekoder für einen Zähler nach Bild 4.11 zur Ansteuerung von gasgefüllten Ziffernanzeigeröhren

bei der Zusammenschaltung, z. B. mit einem Zähler nach Bild 4.11, meist zur Verfügung. Diese Schaltung läßt sich bei geringerer Zahl der Eingangssignale leicht vereinfachen.

6.3. Monolithisch integrierte Dekoder

Zur Dekodierung eines BCD-Signals sind auch monolithische Dekoder erhältlich. Der Schaltkreis *D 146* ermöglicht es, eine 7-Segment-Ziffernanzeige anzusteuern. Dieser Schaltkreis kann auch als 2-Bit-Binärdekoder arbeiten, mit dem RBI-Eingang sind Erweiterungen möglich. Der *MH 7441* enthält einen BCD-Dekoder, der die direkte Ansteuerung von gasgefüllten Ziffernanzeigeröhren gestattet.

7. Verschiedene Anwendungsbeispiele

7.1. Schaltkreisprüfgerät

Vor dem Einlöten in eine Leiterplatte sollte man alle TTL-Schaltkreise überprüfen. Das nachträgliche Wechseln eines Bauelements mit so vielen Anschlüssen bereitet trotz Verwendung eines speziellen Lötkolbeneinsatzes (Bild 7.1) beträchtliche Mühe.

Das Prüfgerät erlaubt die Kontrolle der logischen Funktion der Schaltkreise, es hat nicht die Aufgabe, sämtliche Kennwerte exakt zu messen. Der Aufwand beschränkt sich deshalb auf wenige Bauelemente (Bild 7.2a): Eine Fassung für 16polige DIL-Gehäuse, zwei 16polige Federleisten, 4 Glühlampen zur Pegelanzeige, 4 Tasten zur Bildung von Eingangssignalen und 4 Schaltkreise.

Der Aufbau erfolgt in einem Plastegehäuse. Die Fassung kann aus Kontaktfedern der Transistorfassungen angefertigt sein. Die Belegung der Schaltkreisanschlüsse mit Signalen, Stromversorgung oder Ausgangslast muß in Abhängigkeit vom je-

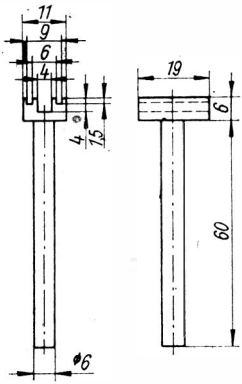
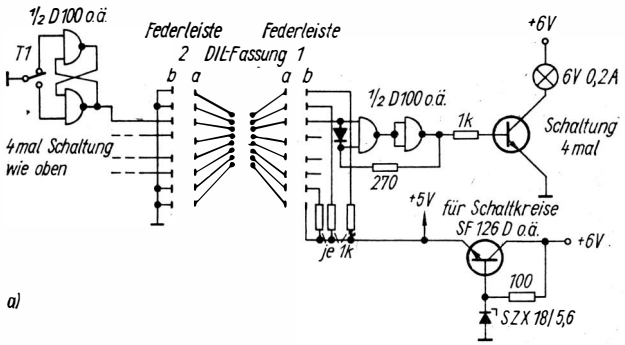


Bild 7.1
Lötkolbeneinsatz zum Auslöten von Schaltkreisen im DIL-Gehäuse



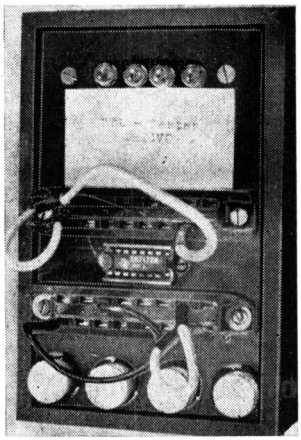


Bild 7.2 a — Prüfgerät für TTL-Schaltkreise; b — Ansicht des Testers

weils zu prüfenden Schaltkreis frei wählbar sein. Die 16 Anschlüsse der Fassung liegen deshalb an den je 8 a-Klemmen der benachbarten Federleisten. An die mittleren b-Klemmen der oberen Federleiste 1 sind die 4 Eingänge der Pegelanzeige angeschlossen. Die einfache Schaltung erlaubt nur die Anzeige des H-Pegels. Mit den Triggern nach Bild 7.3 wäre auch die An-

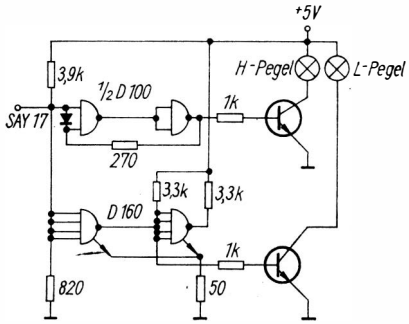


Bild 7.3
Anzeigeschaltung für beide Logikpegel

zeige des L-Pegels möglich, der Stromverbrauch ist dann entsprechend höher.

Über Kontakt 1b der Federleiste 1 (Bild 7.2) erfolgt die Stromversorgung des Prüflings. Die restlichen Kontakte dieser Leiste liegen ebenfalls an der Speisespannung. Die vorgeschalteten Widerstände bilden bei Schaltkreisen mit offenem Kollektor (z. B. *D 103*) die Last. Gleichzeitig begrenzen sie den Strom, wenn versehentlich ein L-Pegel führender Ausgang an Stelle eines Eingangs an H-Pegel gelegt wird. An den Kontakten 3b bis 6b der Federleiste 2 liegen die Signale von den Tasten. Zur Prüfung von Flip-Flops oder anderen Schaltkreisen, die Speicher enthalten (z. B. Zähler, Register), müssen diese Signale entprellt sein. Die restlichen Kontakte der Leiste 2 liegen an Masse. Hier ist keine besondere Schutzmaßnahme erforderlich, weil ein versehentlicher Kurzschluß nach Masse keinen Schaden anrichtet. Die Verbindung der Stromversorgung, der Eingangssignale und der Pegelanzeigen mit den entsprechenden Anschlüssen erfolgt mit kurzen Steckkabeln zwischen den zugehörigen Kontakten der Federleisten. Als Stecker an den Enden der Kabel eignen sich einzelne Kontakte von zu den Federleisten passenden Messerleisten. Die Stromversorgung sichern Monozellen.

Mit dem beschriebenen Gerät können nicht nur die verschiedensten TTL-Schaltkreise getestet werden, auch Ansteuerung und Kontrolle der mit diesen Schaltkreisen bestückten Leiterplatten sind über entsprechende Adapter möglich.

7.2. Morseübungsgenerator

Der astabile Multivibrator nach Bild 7.4 läßt sich als einfacher Morseübungsgenerator verwenden. Mit dem Leistungs-NAND *D 140* (oder IS 5 des Bastlerbeutels) können an dieser einfachen Schaltung bis zu 20 Kopfhörer arbeiten. Als minimaler Lastwiderstand sind etwa 110 Ω zulässig. Zur Stromversorgung reicht eine Taschenlampenbatterie aus. Bei offener Taste liegt ein Eingang über einem niederohmigen Widerstand an Masse. Dieses NAND-Glied ist damit gesperrt. Bei geschlossener Taste arbeitet der AM wie bei Abschnitt 3.3.1. beschrieben.

7.3. Quarzgenerator

Wird einer der Kondensatoren des symmetrischen AM in Abschnitt 3.3.1. durch einen Quarz ersetzt, so erhält man einen einfachen Quarzoszillator. Die Schaltung nach Bild 7.5 arbeitet im Frequenzbereich von 100 kHz bis 12 MHz. Bei Quarzen geringerer Qualität kann es im Frequenzbereich 100 kHz bis 800 kHz vorkommen, daß sich die Schwingungen auf einer darüberliegenden Nebenwelle erregen. Hier hilft ein Kondensator von etwa 500 pF (im Bild gestrichelt eingezeichnet). Für einen Eichgenerator wird deshalb am besten ein 1-MHz-Quarz eingesetzt. Die Abmaße der Quarze mit tieferen Frequenzen sind wegen des anderen Schrittes auch meist bedeutend größer. Um im Empfänger auch zwischen den 1-MHz-Punkten weite Eichmarken zu erhalten, sind Teiler erforderlich, welche die Frequenz auf 100 kHz und 10 kHz herunterteilen. Hierzu eignen sich die in Abschnitt 4. aufgeführten Teiler mit bista-

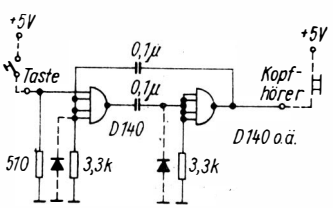
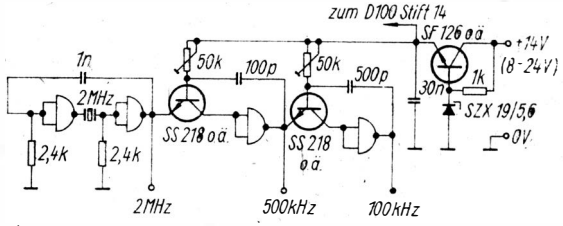


Bild 7.4
Morseübungsgenerator



a)

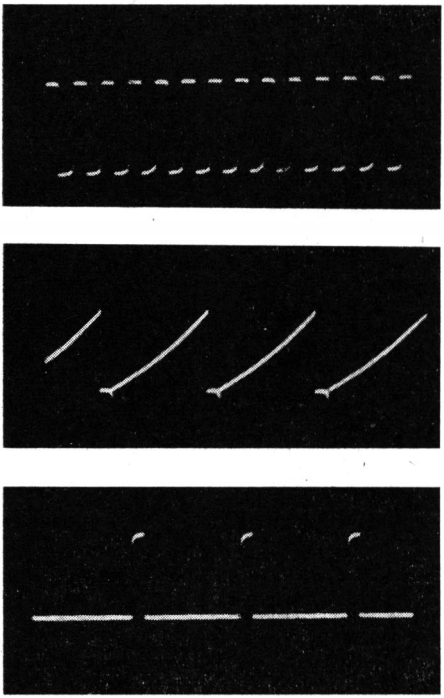
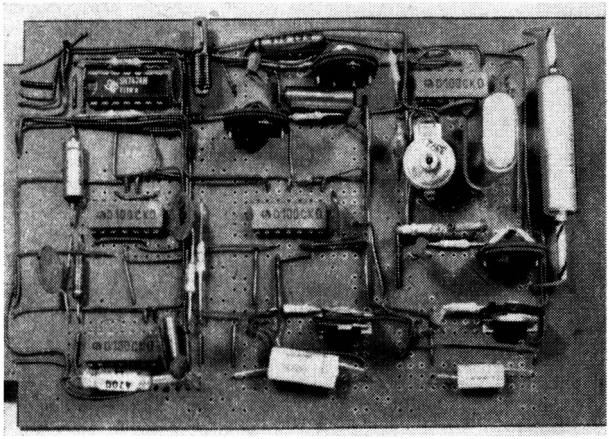


Bild 7.5 a — Quarzoszillator mit nachgeschalteten monostabilen Frequenzteilern; b — Spannungsverlauf an monostabilen Frequenzteilern nach Bild 7.5a: Oben: Eingangssignal 2 MHz; Mitte: Basis von T 1; Unten: Ausgang von G 3;



c — Aufbau einer Quarzzeitbasis mit monostabilen Teilern

bilen Multivibratoren. Sie zeichnen sich durch eine besonders große Betriebssicherheit aus. Es ist jedoch auch möglich, die Teilungen mit den weniger aufwendigen monostabilen Multivibratoren nach Bild 3.2a auszuführen. Diese Teiler arbeiten bis zu Verhältnissen von 1:8 ebenfalls stabil. Bei Untersetzungen von 10:1 und größer wirken sich Schwankungen der Speisespannung von $\pm$ 0,1 V schon auf das Teilerverhältnis aus. Bei einem Verhältnis von 6:1 arbeitete ein Muster sicher im Bereich von 4,6 V bis 5,3 V.

In Bild 3.5a folgen dem Quarzoszillator 2 dieser Teilerstufen. Die Arbeitsweise des Teilers von 2 MHz auf 500 kHz zeigt Bild 7.5b. Der Quarzoszillator erzeugt Impulse mit einer Periodendauer von 0,5 μs. Steht der monostabile Multivibrator in Ruhelage, so schaltet er mit dem ersten Impuls des Quarzgenerators in seine Arbeitslage. Das zeitbestimmende RC-Glied ist so dimensioniert, daß er die Ruhelage erst nach 3 weiteren Eingangsimpulsen, die ohne Wirkung bleiben, wieder erreicht. Der nächste Eingangsimpuls startet den monostabilen Multivibrator erneut. Auf diese Art erscheint die Eingangsspannung des Teilers an dessen Ausgang um den Faktor 4 geteilt. Der

nachfolgende monostabile Teiler wurde auf ein Teilerverhältnis von 5:1 eingestellt. Ein Quarzeichgenerator soll starke Oberwellen erzeugen. Für den Kurzwellenbereich reichen die steilen Flanken der Ausgangsimpulse für die Erzeugung der Eichmarken aus. Müssen auch im UKW-Bereich noch Eichmarken liegen, so sollten die Rechteckwellen mit den Verzögerungsschaltungen von Bild 3.24 oder Bild 3.25 in Nadelimpulse umgewandelt werden.

7.4. Elektronische Morsetaste

Mit TTL-Schaltkreisen lassen sich einfach elektronische Morsetasten aufbauen. Da sie bei den Funkamateuren beliebt sind, soll der Stromlaufplan von Bild 7.6 ausführlich erläutert werden. Bekanntlich ist die Zeichenform genormt. Bezugsmaß ist die Länge eines Punktes, ein Strich hat die Länge von 3 Punkten, die Pause zwischen den Elementen eines Zeichens soll ebenfalls die Länge eines Punktes haben. Eine elektronische Morsetaste muß diese Verhältnisse unabhängig vom Geschick des Operators realisieren. Bei Bedienungsfehlern ist dann u. U. das Zeichen falsch. „Geschmierte" Zeichen mit zu langen Punkten, zu kurzen Strichen usw. sind unzulässig.

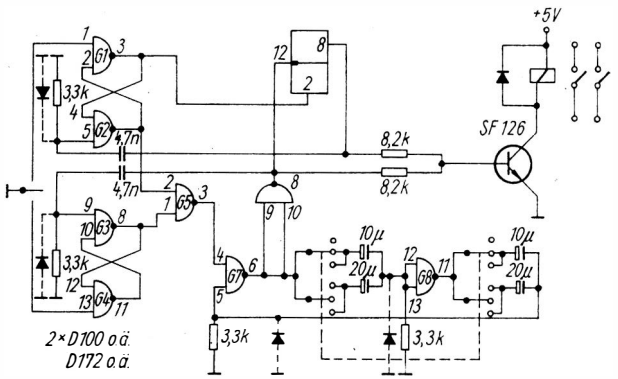


Bild 7.6 Elektronische Morsetaste

Da Punkt und Pause die gleiche Länge haben, bietet sich für ihre Bildung ein symmetrischer AM an (G 7, G 8). Die Striche entstehen durch Überbrückung jeder zweiten Pause zwischen den Punkten (Bild 7.7). Hierzu dient das FF *D 172*. Auf zwei Eingangssignale am Takteingang (Punkte von AM) gibt es ein Ausgangssignal ab. Dieses wird in dem ODER-Glied mit dem Transistor und den zwei Basiswiderständen mit einem Punkt zusammengefaßt und liefert so stets einen exakten Strich. Das FF benötigt zum Umschalten eine höhere Flankensteilheit, als der AM liefert. Dessen Ausgang folgt deshalb ein Gatter, das die Flanken genügend steil formt. Die NAND-Glieder G 1 bis G 4 bilden statische BM. Sie speichern den Anschlag des Tasthebels an der Punkt- oder Strichseite. Der Hebel kann nun vor Beendigung des Punktes oder Striches losgelassen werden, das Zeichen läuft trotzdem exakt ab. Die Gatter 1 und 2 steuern die Auslösung von Strichen. Legt man den Tasthebel kurz an den Eingang 1, so wird das FF „gesetzt", es nimmt den stabilen Zustand ein, bei dem am Ausgang 3 H-Pegel ($> 2{,}4$ V) und am Ausgang 6 L-Pegel ($< 0{,}4$ V) anliegen. Das H gibt den Flip-Flop *D 172* frei, der L-Pegel startet über Gatter 6 den astabilen Multivibrator. Mit der H/L-Flanke von dessen erstem Impuls (Ende des ersten Punktes) kippt der *D 172*, sein H-Signal am Ausgang 8 hält den Transistor weiter leitend, die Pause bis zum nächsten Punkt wird überbrückt. Mit der H/L-Flanke des nächsten Punkt-Impulses kippt der *D 172* zurück.

Diese Flanke schaltet über den an Gatter 2 liegenden Kondensator des Speicher-FF für die Strichbildung wieder in Ruhelage, wenn der Tasthebel nicht mehr oder noch nicht wieder am Eingang 1 liegt. Über Gatter 5 wird der AM abgeschaltet, sofern nicht inzwischen das Speicher-FF für Punktbildung (G 3 und G 4) gesetzt wurde. Dieses FF wird über einen weiteren Kondensator mit der Rückflanke des Punktes zurückgesetzt.

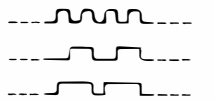


Bild 7.7
Strichbildung

Bei der beschriebenen Taste kann das Tempo durch Umschaltung von je 2 Kondensatoren mit einem Kellogschalter nur 3 Werte annehmen: 120 Bpm mit C = 10 μF. Werden weitere Gebegeschwindigkeiten gewünscht, so sind entsprechende Kondensatoren zusätzlich erforderlich. Mit größerem Aufwand läßt sich auch die Gebegeschwindigkeit kontinuierlich einstellen. An Stelle des einfachen symmetrischen AM muß dann die unsymmetrische Schaltung nach Bild 3.14 treten. Wegen des frequenzabhängigen Tastverhältnisses dieser Schaltung muß ihr jedoch noch ein FF nachgeschaltet sein, um wieder ein Punkt/Pausen-Verhältnis von 1:1 zu erhalten. Soll die Taste ausschließlich mit Schaltkreisen aus dem Bastlerbeutel aufgebaut werden, so ist statt des *D 172* ein BM mit RC-Kopplung nach Bild 7.8 einzusetzen, wobei noch ein NAND-Glied frei bleibt. Die Leiterplatte (Bild 7.9) gilt nur für Bild 7.6.

7.5. Elektronisches Türsignal

Bild 7.11 zeigt die Schaltung eines Geräts, das nach Knopfdruck die ersten 7 Töne der Melodie „Horch, was kommt von draußen rein ...“ abspielt. Es ersetzt die Türklingel, kann aber auch mit einer anderen Melodie als elektronisches Pausenzeichen für eine Betriebsfunkanlage o. ä. eingesetzt werden. Bei dieser Schaltung und ähnlich umfangreichen weicht die Bezeichnung der Schaltkreise von der in den vorangegangenen Abschnitten angewendeten fortlaufenden Numerierung ab. Bei aufwendigeren Schaltungen ist es üblich, die Schaltkreise auf den Leiterplatten nach einem bestimmten Raster in Zeilen und Spalten anzuordnen (z. B. Universalplatte *Up 1032* von

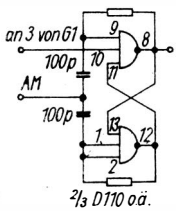


Bild 7.8
RC-gekoppelter BM zur Strichbildung

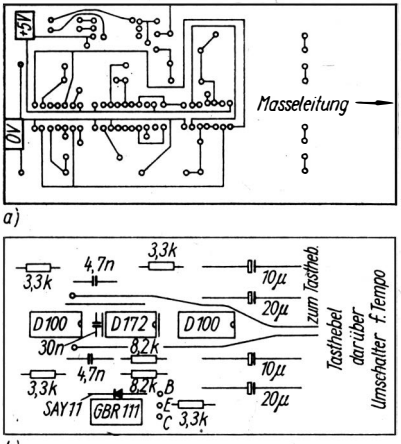


Bild 7.9 Leiterplatte zur Morsetaste nach Bild 7.6
a — Leiterseite; b — Bestückungsseite

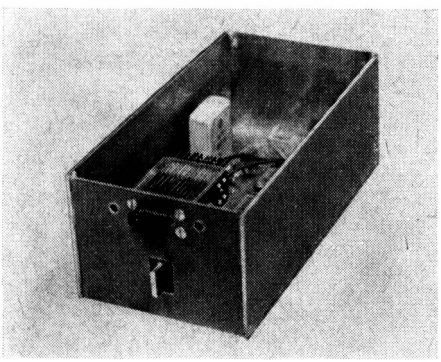


Bild 7.10 Ansicht einer elektronischen Taste nach Bild 7.6

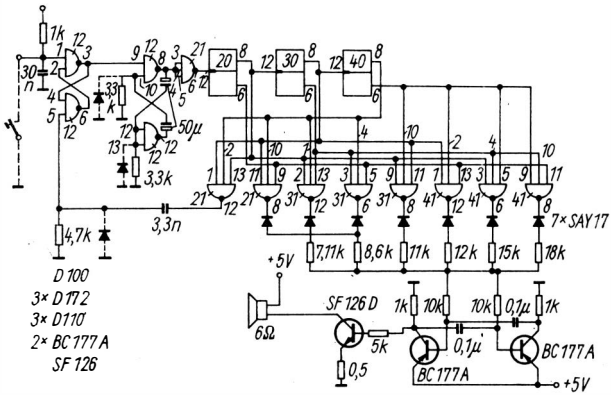


Bild 7.11 Elektronisches Türsignal

Fa. Borkmann). Hier bietet sich an, die Bezeichnung der Schaltkreise aus dem optimalen Platz auf der Leiterplatte zu bilden (Zeilen- und Spaltennummer). So werden nicht nur die Bauelemente bezeichnet, sondern auch noch Hinweise für den konstruktiven Aufbau der betreffenden Schaltung gegeben. Enthält ein Gehäuse mehrere gleichartige Schaltglieder, so geht die eindeutige Zuordnung aus der Bezeichnung der Anschlußstifte hervor.

Die dargestellte Schaltung arbeitet wie folgt:

Ein statisches BM aus zwei Gattern (12) ist der Startspeicher. Er speichert den Druck auf die Auslösetaste (Klingelknopf) und startet damit den Ablauf der Melodie. Das H-Signal an seinem Ausgang (3) schaltet den Taktgeber, einen astabilen Multivibrator (aus den anderen beiden Gattern des Schaltkreises), ein. Das nachfolgende Gatter des Schaltkreises 21 verbessert die Flankensteilheit der Ausgangsimpulse des Taktgebers und leitet sie dem Eingang des Taktzählers zu, der aus den Flip-Flops 20, 30 und 40 besteht (3× *D 172* o. ä.). Dieser Zähler gestattet einen Zählumfang von 8 Impulsen. Davon ist den ersten 7 je ein Ton der Melodie zugeordnet, der achte Impuls schaltet den Startspeicher wieder aus und damit den

Taktgeber ab. Die Auswertung des Taktzählerstandes erfolgt im Dekoder mit den Schaltkreisen 21, 31 und 41. Als Tongenerator mit variabler Frequenz dient der AM mit den beiden pnp-Transistoren, wofür nicht unbedingt der angegebene Typ erforderlich ist. Der nachgeschaltete npn-Transistor verstärkt die NF für Lautsprecherwiedergabe.

Von der Größe der Basiswiderstände des AM hängt dessen Schwingfrequenz und damit die Tonhöhe ab. Die an den Ausgängen des Dekoders liegenden unterschiedlichen Widerstände legen die Tonhöhe fest. Ihre Größe ist von der gewünschten Melodie abhängig. Die in Bild 7.11 angegebenen Größen sind nur Richtwerte, die Realisierung erfolgt durch eine Reihenschaltung eines Festwiderstands mit einem Einstellregler. Nicht jeder ist so „musikalisch", die einzelnen Töne richtig einzustellen. Mit einem Zählfrequenzmesser und der Tabelle 7.1. findet man jedoch schnell den „richtigen Ton". Der Taktgeber ist hierbei abzutrennen und der Taktzähler mit den R/S-Eingängen des ersten FF (20) schrittweise durchzuschalten.

Tabelle 7.1. Frequenz einiger Noten (gerundet) in Hz

	1 gestrichen	2 gestrichen	3 gestrichen
c	261	523	1046
cis	277	554	1108
d	293	587	1174
dis	311	622	1244
e	329	659	1318
f	349	689	1396
fis	369	739	1479
g	391	783	1567
gis	415	830	1661
a	440	880	1760
ais	466	932	1864
h	493	987	1975

7.6. Einfache Quarzuhr mit Ziffernanzeige

Ein Quarz der Frequenz 131,072 kHz steuert die Digitaluhr. Dieser Wert entstand durch Abschleifen eines Längenschwingers mit 130 kHz Schwingfrequenz. Bild 7.12a zeigt den Übersichtsschaltplan des Gerätes.

Das Verständnis der Funktion fällt leicht, weil die Baugruppen alle bereits einzeln beschrieben wurden: Die Quarzoszillatorschaltung entspricht Bild 7.5. Die Quarzfrequenz durchläuft zunächst einen 17stufigen Binärteiler (siehe Abschnitt 4.1.). An dessen Ausgang liegen nun Sekundenimpulse. Diese formt der nachgeschaltete Teiler 60:1 in Minutenimpulse um. Er besteht aus einem Teiler 10:1 nach Bild 4.9, dem ein Teiler 6:1 nach Bild 4.6 folgt. Der anschließende Minutenzähler gleicht diesen Teilern in der Funktion völlig, die herausgeführten Anschlüsse aller Flip-Flops gestatten jedoch den An-

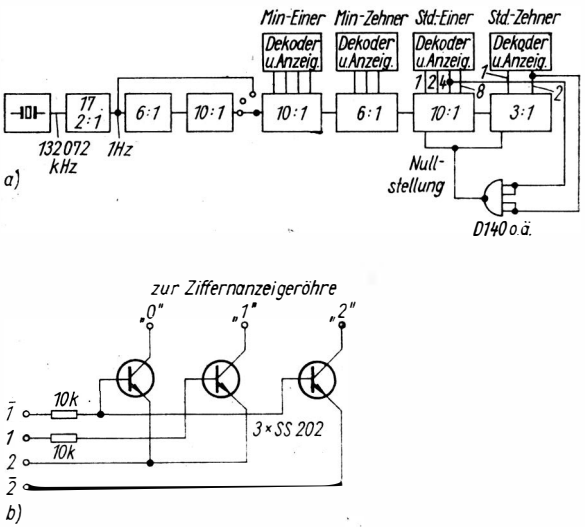


Bild 7.12 a — Übersichtsschaltplan der einfachen Digitaluhr;
b — Dekoder des Stundenzehners

schluß der Dekodierschaltungen für die Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhren.

Am Minuteneiner (Zählumfang 0 bis 9) liegt die Schaltung nach Bild 7.1; der Dekoder des Minutenzehners (Zählumfang 0 bis 5) wurde bei sonst gleicher Schaltung entsprechend vereinfacht.

Am Ausgang des Minutenzählers liegen Stundenimpulse. Die Schaltung des Stundeneiners (Zählumfang 0 bis 9) entspricht der des Minuteneiners. Der Stundenzehner (Zählumfang 0 bis 2) hat die Schaltung nach Bild 4.3, der Dekoder vereinfacht sich noch weiter. Von der Stellung „23" muß der Stundenzehner auf „00" springen, d. h., der Stundeneiner darf in diesem Falle nicht bis 9 durchlaufen. Diese Umschaltung kann nach dem Prinzip des Zählers mit wählbarer Stellenzahl (Bild 4.10) ablaufen. Wenn im Stundenzehner die Zahl 2 steht (Flip-Flop B erregt) und im Stundeneiner die Zahl 4 auftritt (Flip-Flop C erregt), schaltet ein NAND-Glied die R-Eingänge des Stundenzählers auf L-Pegel. So wird zwar zunächst die Stellung „24", danach jedoch sofort Stellung „00" eingenommen. Dies geschieht innerhalb weniger Nanosekunden, so daß es vom Auge nicht wahrnehmbar ist. Um die Uhr zu stellen, werden mit einem Drehschalter Abschnitte des Binärteilers übersprungen. Das Anhalten der Uhr ist durch Unterbrechung der Verbindung zum Binärteiler möglich. Um Prellungen der Kontakte unwirksam zu machen, wurden 3 Schaltebenen parallelgeschaltet. Der Fehler dieser einfachen Quarzuhr beträgt einige Sekunden je Tag.

Für ähnliche Quarzuhren sind viele Variationen möglich. Steht ein Quarz mit anderer Frequenz zur Verfügung, so muß die Frequenzteilung in entsprechender Form erfolgen. Hierfür sind auch monostabile Multivibratoren, z. B. nach Bild 3.20, geeignet. Im Interesse der Stabilität sollte ein monostabiler Multivibrator die jeweilige Frequenz jedoch nicht mehr als 5:1 teilen, der *D 100* gestattet so leicht ein Teilerverhältnis von 500:1.

Besonders kleine Abmaße erzielt man mit höher integrierten Schaltkreisen, z. B. Binärzähler *MH 7493*, Zähldekade *MH 7490* (beide von TESLA) oder *D 192*, *D 193* usw. Auch der

Aufbau vereinfacht sich wesentlich, besonders wenn für die Dekoder zur Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhren ebenfalls monolithisch integrierte Typen (z. B. *MH 7441*) eingesetzt werden. Der Amateur kann hier je nach seinen Bedürfnissen und Möglichkeiten variieren.

7.7. Zählfrequenzmesser mit digitaler Anzeige

Für den Amateur sind Frequenzmessungen besonders attraktiv. Viele andere Messungen lassen sich auf eine Frequenzmessung zurückführen, z. B. Drehzahlmessung, Strom- oder Spannungsmessungen, Kapazitäts- und Induktivitätsmessungen. Digitale Frequenzmesser zeichnen sich durch eine besonders einfache Struktur aus (Bild 7.13). Bei einer periodischen Wechselspannung braucht nur die Zahl der vollständigen Schwingungen (Impulse) in einer bestimmten Zeit gezählt zu werden. Die Länge der Meßzeit bestimmt die Maßeinheit des angezeigten Wertes. Beträgt die Meßzeit z. B. 1 s, so hat die angezeigte Frequenz die Maßeinheit Hz, bei 1 ms Meßzeit ergibt sich die Maßeinheit kHz usw.

Das Herzstück des Zählfrequenzmessers ist die Zeitbasis. Von der Genauigkeit der Schwingfrequenz des Quarzes hängt die erreichbare Genauigkeit der Messung ab. So ist es wenig sinn-

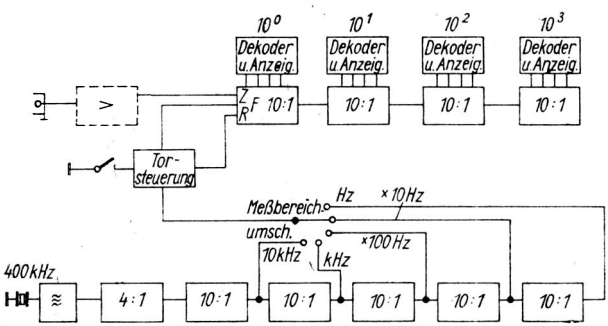


Bild 7.13 Übersichtsschaltplan des Zählfrequenzmessers

voll, einen 6stelligen Zähler mit einer Quarzfrequenz der Genauigkeit $1 \cdot 10^4$ zu steuern. Zwar ist in der vom Hersteller angegebenen Frequenztoleranz der Quarze auch die Alterung enthalten, d. h., die Kurzzeitstabilität kann wesentlich besser sein, jedoch ist dann trotzdem auf die letzten zwei Stellen wenig Verlaß. Deshalb lohnt es sich, beim Quarzoszillator etwas mehr Aufwand zu treiben.

Bei der Schaltung in Bild 7.14 ist ein Quarz mit der Arbeitstemperatur + 50 °C ± 3 °C (323 ± 3 k) verwendet. Um die Erregung des Quarzes auf Nebenwellen auszuschließen, wurde dieser in die Gegenkopplung eines Wienbrückenoszillators gelegt. Die Wienbrücke ist auf die gewünschte Quarzfrequenz abgestimmt. Die Gegenkopplung wurde jedoch so festgelegt, daß der Oszillator ohne Quarz nicht schwingt. Der Quarz liegt parallel zum Gegenkopplungswiderstand im Emitter von T 2. Bei der Serienresonanzfrequenz des Quarzes verringert sich dessen Scheinwiderstand und wird reell. Die Verstärkung steigt, und die Schwingungen setzen ein. Um die Genauigkeit des Quarzes voll ausnutzen zu können, hält ein Thermostat dessen Temperatur konstant auf 50 °C (323 k). Bild 7.15 zeigt den Stromlaufplan. Die Transistoren T 1 und T 2 bilden einen einfachen Differenzverstärker. An der Basis von T 2 liegt ein Spannungsteiler, der den Sollwert vorgibt. Der Thermistor im Spannungsteiler des Transistors T 1 mißt die Temperatur des Quarzes. Bei 50 °C (323 k) ist das Verhältnis der beiden Spannungsteiler gleich, und der Differenzverstärker befindet sich in der Mitte des Aussteuerbereichs. Die beiden Transistoren T 3 und T 4 lassen je nach Umgebungstemperatur einen entspre-

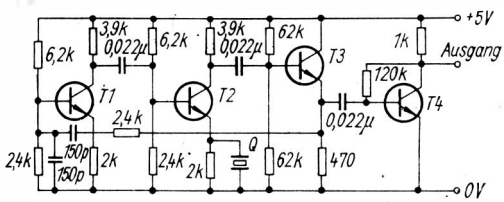


Bild 7.14 Quarzoszillator

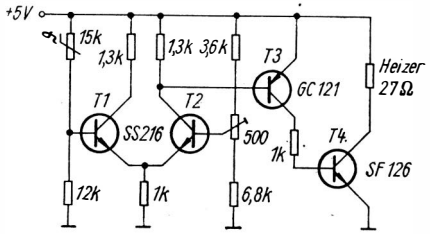


Bild 7.15 Analoge Temperaturkonstantregelung

chenden Strom durch die Heizwicklung fließen. Wird durch niedrige Umgebungstemperatur der Quarz geringfügig abgekühlt, so vergrößert sich der Widerstand des Thermistors. Die Ausgangsspannung von T 2 fällt, T 3 und T 4 lassen einen größeren Strom durch die Heizwicklung fließen, so daß die Temperatur des Quarzes wieder steigt. In der Praxis kann bei Schwankungen der Umgebungstemperatur zwar die Veränderung des Heizstromes gut beobachtet werden, die Temperaturschwankungen des Quarzes jedoch sind wegen der hohen Verstärkung des Regelteils mit einfachen Thermometern nicht meßbar. Das Thermostat wird in einem Gehäuse aus Schaumstoff (Piatherm, Polyurethan o. ä.) aufgebaut. Der Quarz wird mit einigen Windungen isolierten Widerstandsdrahtes umwickelt. Besonders wichtig ist ein guter Wärmekontakt zwischen dem Quarzgehäuse und dem Thermistor, beide müssen unmittelbar aneinanderliegen. Der Differenzverstärker befindet sich nicht im Schaumstoffgehäuse, die Verbindungen mit dem Thermistor und der Heizwicklung sollten kurz gehalten sein. Die Frequenzteiler weisen keine Besonderheiten auf, die Schaltung entspricht den bereits beschriebenen Baugruppen: Dem Oszillator folgt ein niederohmiger Trigger (Bild 3.8), dem sich ein 2-Bit-Binärteiler (Bild 4.9a) anschließt, von denen je nach Stellung des Umschalters die gewünschte Meßzeit abhängt. Die Messung wird mit Taste von Hand ausgelöst (Bild 7.16a). Die Torsteuerung arbeitet wie folgt (siehe auch Zeitdiagramm Bild 7.16b):

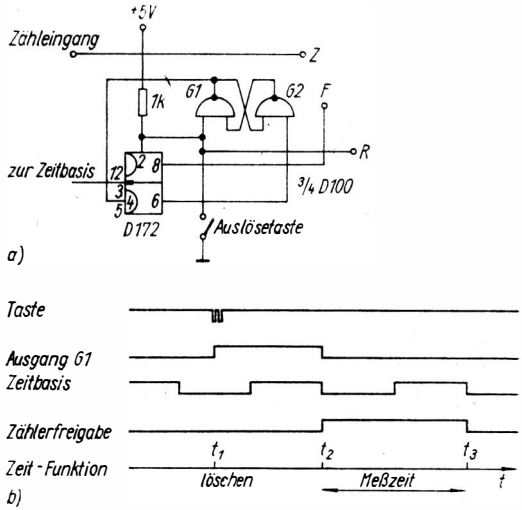


Bild 7.16 a — Torschaltung des Zählfrequenzmessers;
b — Zeitdiagramm

In Ausgangsstellung liegt an der Zählerfreigabe F L-Pegel. Die am Takteingang Z des Zählers anliegenden Impulse sind wirkungslos. Am Takteingang (12) des Flip-Flop *D 172* liegen je nach Meßbereich die entsprechenden Impulse von der Zeitbasis. Sie sind jedoch ebenfalls wirkungslos, weil ein J-Eingang (4) auf L-Pegel liegt. Die Auslösetaste schaltet das statische FF (G 1 und G 2) um. Am Ausgang von G 1 erscheint H-Pegel. Nun kann das *D 172* mit der nächsten H/L-Flanke des Zeitimpulses am Takteingang umschalten. Damit ist der Zähler freigegeben, und die Signalimpulse am Zähleingang werden eingezählt.

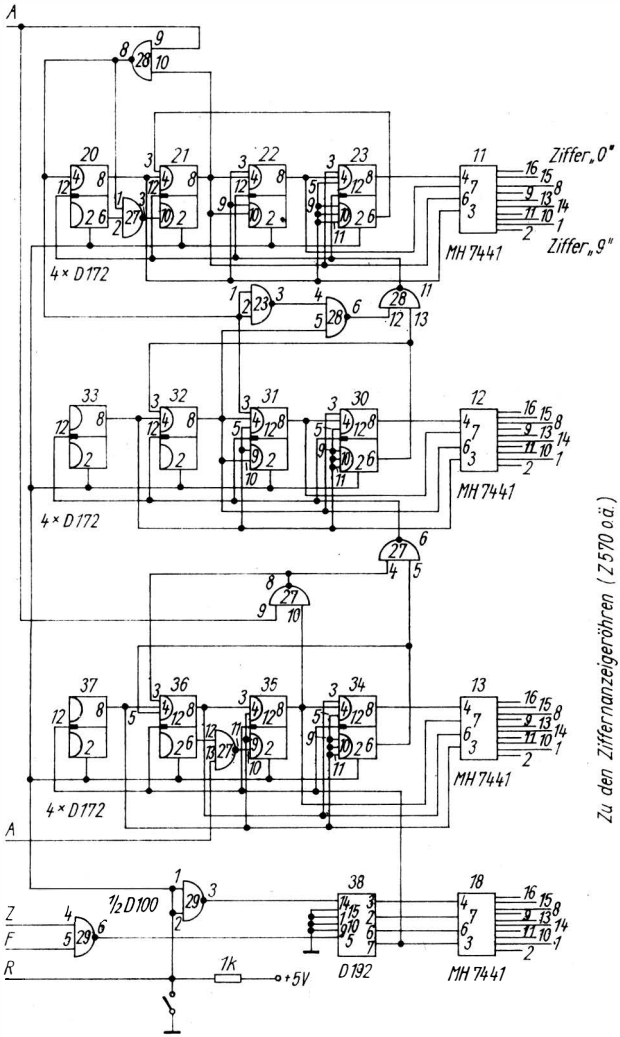
Der L-Pegel am Ausgang 6 des *D 172* hat das statische FF wieder rückgesetzt, der J-Eingang liegt auf L-Pegel.

Die nächste H/L-Flanke des Zeitimpulses schaltet das *D 172* zurück, wodurch die Ausgangsstellung wieder erreicht ist. Die

in den Zähler eingelaufenen Impulse stehen nun der Anzeige zur Verfügung. Mit der nächsten Auslösung wird der Zähler wieder auf Null gestellt, und es wird erneut eingezählt. Der 4stufige Zähler weist keine Besonderheiten auf. Die Schaltung der 4 Dekaden entspricht Bild 4.9a, Dekodierung und Anzeige entsprechen Bild 6.3. Der Aufbau vereinfacht sich wesentlich, wenn man höher integrierte Schaltkreise (siehe Abschnitte 4.3. und 6.3.) einsetzt.

7.8. Kombinationsgerät Digitaluhr/Zählfrequenzmesser

Der Aufwand für einen 4stelligen Zählfrequenzmesser und eine einfache Digitaluhr mit 4stelliger Anzeige ist etwa gleich hoch. Es liegt daher nahe, beide Funktionen mit einem Gerät zu realisieren. Das Kombinationsgerät kann dann im Regelfall als Uhr und bei den weniger häufigen Frequenzmessungen als Zählfrequenzmesser arbeiten. Die Zeitbasis entspricht der des im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Zählers, wobei dem 1-Hz-Ausgang noch ein Teiler 60:1 zur Erzeugung der Minutenimpulse nachfolgt (siehe Beschreibung der Digitaluhr). Die Umschaltung der Betriebsarten wirkt sich auf die Torschaltung, die zweite und die vierte Stelle des Zählers sowie auf das Rückstellen des Zählers um 24 Uhr aus. Bild 7.17a zeigt den Stromlaufplan des Zählerteils, bei dem der Zählumfang den Betriebsarten als Uhr und als Zählfrequenzmesser entsprechend umschaltbar ist. Die Dekodierung erfolgt mit monolithisch integrierten Schaltkreisen, die Anzeige (nicht eingezeichnet) mit gasgefüllten Ziffernanzeigeröhren. Um beim Betrieb als Zählfrequenzmesser eine hohe obere Grenzfrequenz zu erreichen, ist die erste Stelle des Zählers mit einem schnellen, monolithisch integrierten Zähler bestückt. Die folgenden Zählerbaugruppen sind als Synchronzähler geschaltet, d. h., der Taktimpuls wird allen FF einer Zählerbaugruppe gleichzeitig zugeführt. Beim Betrieb als Zählfrequenzmesser arbeiten diese Baugruppen als dekadische Zähler, der Betriebsartenschalter legt die Steuereingänge A auf L-Pegel und $\overline{A}$ auf H-


A
Ziffer „0"
Ziffer „9"
4 × D172
MH 7441
1/2 D100
D192
Z
F
R
1k
+5V
Zu den Ziffernanzeigeröhren (Z 570 o. ä.)

a)

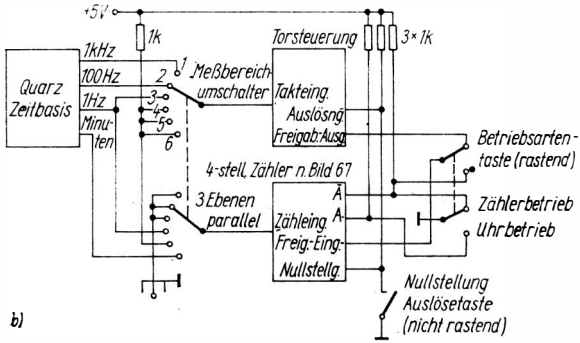


Bild 7.17 a — **Zähler mit umschaltbarem Zählumfang;**
b — **Übersichtsschaltplan des Kombinationsgerätes**

Pegel (siehe auch Übersichtsschaltplan Bild 7.17b). Die Eingänge Z, F und R sind mit den entsprechenden Anschlüssen der Torsteuerung verbunden. Am Takteingang des FF der Torsteuerung liegen mit weiteren Stellungen des Betriebsartenschalters je nach Meßbereich die entsprechenden Taktimpulse (siehe Zählfrequenzmesser, Bild 7.13).

Beim Betrieb als Uhr wird die Torschaltung überbrückt, der Eingang F liegt an H-Pegel, und der Z-Eingang ist auf den Ausgang des 60:1-Teilers (Minutenimpulse) geschaltet. Mit weiteren Schalterstellungen ist wie bei der bereits beschriebenen Digitaluhr das Anhalten und Stellen der Uhr möglich. Bei H-Pegel am Eingang A (L-Pegel an $\overline{A}$) sorgen der Schaltkreis 28 und ein Gatter von Schaltkreis 27 für die Umschaltung des Stundenzählers von Stellung „23“ auf Stellung „00“. Die restlichen NAND-Glieder des Schaltkreises 27 schalten den Zählumfang des Minutenzehners um und steuern die Abgabe der Stundenimpulse.

8. Anhang (Schaltkreisvergleichstabelle)

Wie bereits erwähnt, produzieren viele Firmen TTL-Schaltkreise. Trotzdem sind die einzelnen Typen meist völlig äquivalent oder unterscheiden sich nur geringfügig in den zulässigen Toleranzen der Speisespannung, der Schaltgeschwindigkeit, dem Betriebstemperaturbereich, dem Leistungsbedarf je Gatter usw., nicht jedoch in den Logikpegeln.

Die Schaltkreise unterschiedlicher Serien können also direkt zusammenarbeiten, wenn die z. T. unterschiedlichen Einheitslasten berücksichtigt werden. Bei den Schaltungen des Amateurs spielen die oben angeführten Unterschiede ohnehin keine Rolle. Aus diesen Gründen ist ein Vergleich der Schaltkreise verschiedener Hersteller und Serien besonders interessant.

Die oben genannten Gemeinsamkeiten der Bauelemente drükken sich häufig in deren Bezeichnung aus. Die international am weitesten verbreitete Bezeichnung der einzelnen Typen beginnt mit einigen Buchstaben, aus denen man den Hersteller entnehmen kann:

MH — TESLA, ČSSR
SN — Texas Instruments
MIC — ITT
TL — AEG Telefunken
IDT — SFRJ

Die nachfolgende Zifferngruppe kennzeichnet den Betriebstemperaturbereich und die zulässigen Toleranzen der Speisespannung:

Tabelle 9.1. Betriebstemperaturbereich und zulässige Toleranzen der Speisespannung einiger Schaltkreisserien

Serie	Betriebstemperaturbereich	Speisespannungstoleranz
54	− 55 °C bis + 125 °C	± 10%
74	0 °C bis + 70 °C	± 5%
84	− 25 °C bis + 85 °C	± 5%

Die Serie *74* ist am weitesten verbreitet, hat die geringsten Preise und ist bei vielen Herstellern am weitesten entwickelt. Sie wird als Standardserie bezeichnet.
Folgt in der Bezeichnung eine Buchstabengruppe, so zeigt diese Abweichungen von der Standardserie in weiteren Kennwerten:

- L S — Low-power-Schottky, geringerer Leistungsbedarf je Gatter.
- S — Schottky-Serie, kürzere Schaltzeiten.
- L — Low-power-Serie, geringerer Leistungsbedarf je Gatter, längere Schaltzeiten.
- H — high-speed-Serie, gekennzeichnet durch besonders kurze Schaltzeiten und größeren Leistungsbedarf je Gatter.

Die nun in der Bezeichnung folgende Zahlengruppe ist die laufende Nummer, hier ist leider keine Systematik üblich. Schaltkreise unterschiedlicher Serien mit den gleichen laufenden Nummern haben die gleiche logische Funktion und gleiche Anschlußbelegung (z. B. *MH 5400* und *SN 74 HOON*). Es genügt deshalb, die Anschlußbilder der Typen der Standardserie zu kennen.
Weitere angehängte Buchstaben kennzeichnen meist das Gehäuse, seltener geringe Abweichungen einzelner technischer Daten:

- N — Dual-in-line-Gehäuse
- J — Flat-pack-Gehäuse

A — geringe Abweichung zum Typ mit der gleichen laufenden Nummer siehe Katalog des Herstellers.

Die Bezeichnungen einiger Hersteller weichen jedoch z. T. beträchtlich von diesem Schlüssel ab. Bei den Bauelementen der DDR-Produktion hat die Bezeichnung folgende Bedeutung:

Tabelle 9.2. Bedeutung der Bezeichnung von DDR-Schaltkreisserien

RFT-Bezeichnung	international	Bedeutung
D 10	*74*	Standardserie
E 10	*84*	größerer Betriebstemperaturbereich als Reihe *D 10*
D 20	*74 H*	schneller, größerer Leistungsbedarf je Gatter, größere Einheitlast als Reihe *D 10*

Die letzten Ziffern der Zahlengruppe entsprechen weitgehend der laufenden Nummer des internationalen Bezeichnungssystems. Die RFT-Schaltkreise befinden sich im Dual-in-line-Gehäuse; als Gehäusewerkstoff sind Keramik (Kennbuchstabe C, am Ende der Bezeichnung) und Plast (Kennzeichen D) eingesetzt. Die Bauelemente im Plastgehäuse sind z. T. beträchtlich billiger.

In der Sowjetunion werden Schaltkreise der Standardserie mit den Bezeichnungen Serie *155* im DIL-Gehäuse und Serie *133* im Flat-pack-Gehäuse produziert. Die Serie *158* liegt im Leistungsbedarf zwischen der Standardserie und der Low-power-Reihe *54*. Die weitere Systematik dieser Serien ist der Vergleichstabelle (Tabelle 9.3.) für die Standardserie zu entnehmen. Die sowjetischen Schaltkreise haben die gleiche Anschlußbelegung wie die angegebenen Äquivalenttypen, jedoch einen größeren Arbeitstemperaturbereich. Die Grenzwerte der zulässigen Spannungen an den Eingängen liegen niedriger, so

daß es nicht zulässig ist, unbenutzte Eingänge direkt an die Speisespannung zu legen.

Die Bezeichnung der Schaltkreise einiger anderer Produzenten kann ebenfalls der Vergleichstabelle entnommen werden.

Die Schaltkreise des Bastlerbeutels entsprechen der Standardserie. Die zulässige Belastung der Ausgänge beträgt jedoch nur 5 Lasteinheiten.

Tabelle 9.3. Vergleichstabelle für die Standardserie

Standardserie:
Temperaturbereich *0 °C* bis *70 °C*
Spannungstoleranz ± *5%*
Einheitslast *1,6 mA*

Schaltkreis	Bild	Äquivalenttypen	Bemerkungen
D 100	9.1	7400, FLH 101, 1ЛБ553	
D 103	9.1	7403 FLH 291	
D 126	9.1	7426	
7405	9.2	FLH 271	
D 110	9.3	7410, 1ЛБ554	
7413	9.4	FLH 351 K 155 TL1	
D 120	9.4	7420, 1Л 551, FLH 121	
D 140	9.4	7440, 1Л 556, FLH 141, $F_{LA} = 30$	
D 130	9.5	7430, FLH 131, 1ЛБ552	
D 150	9.6	7450, FLH 151, 1ЛР 551	
D 151	9.7	7451, FLH 161	
D 153	9.8	7453, FLH 171, 1ЛР 553	
D 160	9.9	7460, FLY 101, 1ЛП 551	
D 172	9.10	7472, FLJ 111, 1 TK 551,	R.S.T = $2F_{LE}$
7474	9.11	FLJ 141, K 1 TK 552	
7475	9.12	FLJ 151, K 155 TM 7	
D 181	9.13	FLQ 111, 7481, K 155 РУ 1	
D 191	9.14	7491, FLJ 221	
D 195	9.15	7495, FLJ 191, K 155 ИР 1	
7490	9.16	FLJ 161, K 155 ИЗ 2	
7493	9.17	FLJ 181, K 155 ИЗ 5	
D 192	9.18	74192, FLJ 241, K 155 ИЗ 6	
D 193	9.18	74193, FLJ 251, K 155 ИЗ 7	
7441	9.19	74141, 7 FLL 101	
D 146	9.20	7446, FLL 121	
74121	9.21	FLK 101, K 155 AG1	

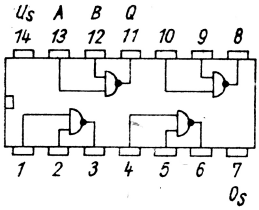


Bild 9.1

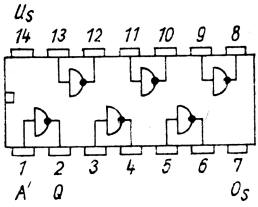


Bild 9.2

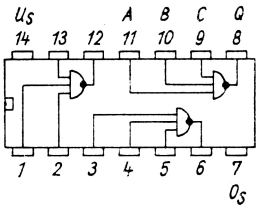


Bild 9.3

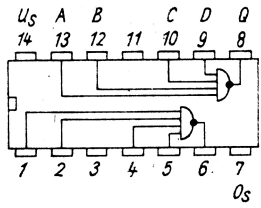


Bild 9.4

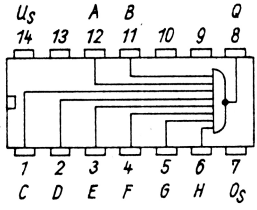


Bild 9.5

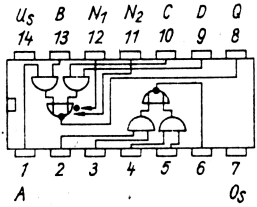


Bild 9.6

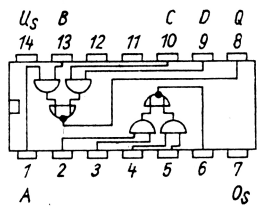


Bild 9.7

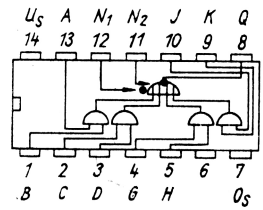


Bild 9.8

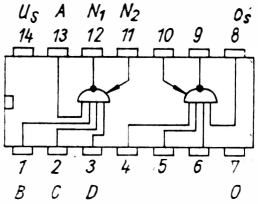


Bild 9.9

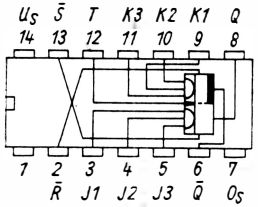


Bild 9.10

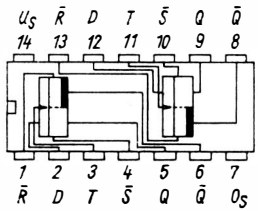


Bild 9.11

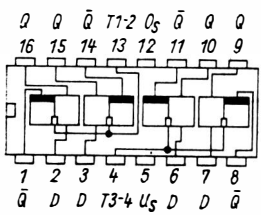


Bild 9.12

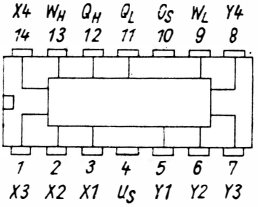


Bild 9.13

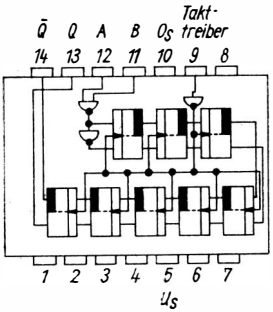


Bild 9.14

Bild 9.1. bis Bild 9.21. Anschlußbilder von TTL-Schaltkreisen

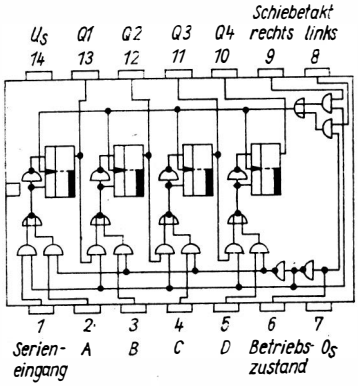


Bild 9.15

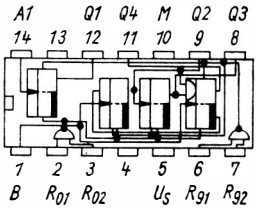


Bild 9.16

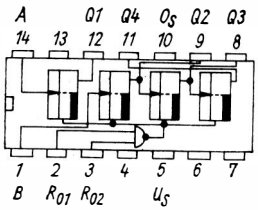


Bild 9.17

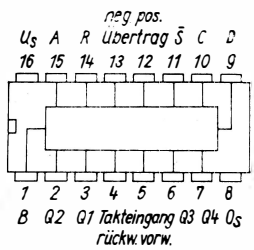


Bild 9.18

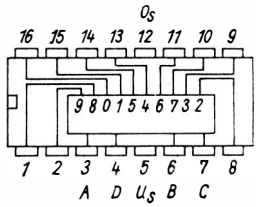


Bild 9.19

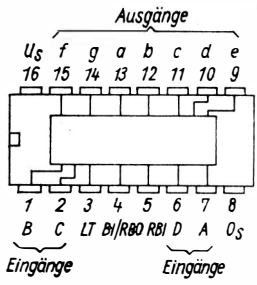


Bild 9.20

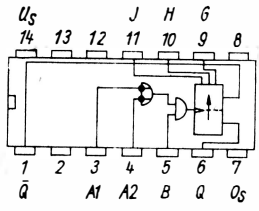


Bild 9.21

9. Literaturverzeichnis

[1] Monolithisch integrierte Schaltkreise — Ausgabe 1973/74; Kombinat VEB Halbleiterwerk Frankfurt(Oder)

[2] Priklady pouziti cislicorych integrovanych obvodu; TESLA Roznov 1971

[3] *Haseloff, E.:* Das TTL-Kochbuch; Texas Instruments Deutschland GmbH, München 1972

[4] *Kühne, H.:* Schaltbeispiele mit TTL-Gattern der Schaltkreisserie *D 10*; Teil 1: Band 141 der Reihe „electronica", Teil 2: Band 155 der Reihe „electronica", Militärverlag der DDR, Berlin 1976 bzw. 1977

[5] *Kühn, E., Schmied, H.:* Integrierte Schaltkreise; VEB Verlag Technik, Berlin 1972

[6] Zeitschrift FUNKAMATEUR, ab Jahrgang 1971

[7] Zeitschrift radio-fernsehen-elektronik, ab Jahrgang 1971

Neben dem Literaturverzeichnis soll noch auf Literatur zum Thema „Anwendung von TTL-Schaltkreisen" hingewiesen werden, die für den Amateur besonders interessant ist. Zunächst sei das Anleitungsheft zum „Bastlerbeutel Nr. 8" erwähnt. Es wendet sich vor allem an den Anfänger.
In der ČSSR stehen TTL-Schaltkreise mit mittlerem Integrationsgrad schon länger zur Verfügung. Die Zeitschrift „Amaterske Radio", die auch von einigen Bibliotheken der DDR bezogen wird, enthielt in den letzten Jahren die nachfolgenden Schaltungen bzw. Bauanleitungen:
Vierstelliger Zählfrequenzmesser 25 MHz: AR 22 (1973) H. 2, S. 52—55
Dreistelliger Zählfrequenzmesser 100 MHz: AR 22 (1973) H. 5, S. 175—177
Elektronisches Schloß: AR 22 (1973) H. 11, S. 426

Zwei elektronische Morsetasten: AR 22 (1973) H. 12, S. 468 bis 470
Chronometer und Kurzzeitmesser: AR 22 (1973) H. 12, S. 451 bis 452
Elektronischer Würfel: AR 23 (1974) H. 1, S. 33
Digitales Multimeter: AR 23 (1974 H. 2, S. 54; H. 3, S. 98
Elektronische Morsetaste: AR 23 (1974) H. 2, S. 75—76
Zweitonsirene: AR 23 (1974) H. 3, S. 87
Funktionsgenerator: AR 23 (1974) H. 3, S. 93—95
Digitale Frequenzanzeige für Rundfunkempfänger: AR 23 (1974) H. 4, S. 136—138